Untersuchungen

über

atmosphärische Elektrizität

mit besonderer Berücksichtigung

ihrer

technischen Bedeutung.

Von der k. Technischen Hochschule zu München zur Erlangung der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften genehmigte Dissertation,

vorgelegt von

Karl Wolfgang Lutz, Diplomingenieur
aus München.

Referent: Prof. Dr. H. Ebert. Korreferent: Prof. Dr. O. Knoblauch.

1904

Untersuchungen

über

atmosphärische Elektrizität

mit besonderer Berücksichtigung

ihrer

technischen Bedeutung.

ACAD
LUNO RAT
BIBL.

Von der k. Technischen Hochschule zu München zur Erlangung der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften genehmigte Dissertation,

vorgelegt von

Karl Wolfgang Lutz, Diplomingenieur
aus München.

Referent: Prof. Dr. H. Ebert. Korreferent: Prof. Dr. O. Knoblauch.

Druck von A. Sighart in Fürstenfeldbruck.

Vorwort.

Eine der Hauptbestrebungen der Technik geht dahin, die Naturkräfte mehr und mehr auszunützen. Es kann daher nicht verwundern, wenn auch die in der Natur erzeugte Elektrizität, deren zerstörende Kraft dem Techniker genugsam bekannt ist, zur praktischen Verwertung herangezogen wurde. Namentlich durch ein in jüngster Zeit patentirtes Verfahren[1]) sollen Mengen elektrischer Energie aus hohen Luftschichten herabgeführt werden können, die denen bei Gewittern auftretenden nahe kommen.[2]) Die überaus große praktische Bedeutung eines derartigen Unternehmens liegt auf der Hand. Damit wäre nichts weniger als eine neue mächtige Energiequelle erschlossen.

Solchen Hoffnungen gegenüber ist es gewiß von Interesse, alle hier in Betracht kommenden Fragen zu studieren, um ein richtiges Urteil über die technische Bedeutung der atmosphärischen Elektrizität zu erlangen.

Der Nachweis und die Messung der in der Luft enthaltenen Elektrizitätsmengen, ihre Veränderungen und die dadurch bedingte Leitfähigkeit hat für den Techniker nach zweierlei Richtungen hin besonderes Interesse:

1) Allen Fragen und Versuchen gegenüber, die in der Atmosphäre vorhandenen elektrischen Kräfte nutzbar zu machen,

2) als Quelle von Störungen in technischen Betrieben.

Im folgenden seien diese beiden Seiten der technischen Bedeutung der Luftelektrizität der Betrachtung unterzogen.

---

[1]) H. Rudolph: Deutsche Patentschrift vom 22. Juli 1898, Patent Nr. 98180, Klasse 21.

[2]) Derselbe: „Luftelektrizität und Sonnenstrahlung", Leipzig 1903, S. 23.

Geschichtliche Einleitung.

Im Jahre 1708 kam Wall,[1]) angeregt durch die Ergebnisse seiner Reibungsversuche an großen Bernsteinstücken, auf die Vermutung, daß elektrischer Funke und Blitz ihrem Wesen nach dasselbe seien. Dieser Gedanke wurde 1746 von Winkler[2]) in seiner Schrift „Die Stärke der elektrischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefäßen" näher begründet, ohne daß bis dahin ein experimenteller Nachweis versucht worden wäre. Dies geschah zuerst von D'Alibard und Delord,[3]) die einen Vorschlag Franklins (Juli 1750) ausführten. Am 10. Mai 1752 erhielten sie aus einer 32 m hohen oben zugespitzten Eisenstange bei einem Gewitter Funken von ansehnlicher Länge.

Im Juni 1752 hat Franklin selbst durch seinen bekannten Drachenversuch die elektrische Natur des Blitzes nachgewiesen. Noch im selben Jahre entdeckte Le Monnier[4]) zu St. Germain-en-Laye, daß die Luft, auch bei Abwesenheit von Gewittern, elektrisch ist. Franklins Untersuchungen hatten bekanntlich große praktische Bedeutung. Sie führten ihn zur Erfindung des Blitzableiters, den er als Erster an seinem eigenen Hause anbrachte. Während Franklin und seine Mitarbeiter nur die zerstörende Wirkung der Gewitterelektrizität sahen, erkannte vielleicht zuerst Richmann[5]) in Petersburg schon 1753 im Gewitter eine mächtige Energiequelle. Sicher ist, daß er durch einen Blitzableiter Leydner-Flaschen laden wollte. Während eines am 6. August 1753 über Petersburg niedergehenden Gewitters, das seine Hoffnungen zu erfüllen schien, schlug der Blitz in die Leitung, und Richmann fand durch seine Versuchsanordnung den Tod.

Dieser schwere Unglücksfall bestätigte von Neuem die Gefährlichkeit der Gewitterelektrizität und hat vielleicht weitere Bestrebungen verhindert, sie in den Dienst der Menschheit zu zwingen. Erst in neuester Zeit, die die elektrische Energie zu so vielerlei Zwecken verwendet, haben findige Köpfe versucht, die in der Natur erzeugte Elektrizität praktisch auszunützen, was die nachstehenden Beispiele zeigen.

---

1) Wall: Phil. Trans. 26, 170.

2) E. Hoppe: „Geschichte der Elektrizität", 137; 1884.

3) A. v. Urbanitzky: „Blitz u. Blitzschutzvorrichtung"; Elektrotechnische Bibliothek 29, 9.

4) E. Hoppe: „Geschichte der Elektrizität; 41, 1884.

5) H. Meidinger: „Geschichte des Blitzableiters"; 32, 1888.

I. Abschnitt.

1) Die atmosphärische Elektrizität als Energiequelle.

1) „Methode zur Ausnützung der natürlichen elektrischen Energie" von M. W. Dewey.

Dewey[1]) geht von der Tatsache aus, daß zwischen einem Punkte der Erdoberfläche und einem darüber in der Atmosphäre gelegenen ein Potentialunterschied besteht. (Siehe Seite 17.) Werden nun diese beiden Punkte durch einen Leiter verbunden, so entsteht in demselben ein elektrischer Strom. Dieser Strom soll nun zur Ladung einer Akkumulatorenbatterie verwendet werden.

Die Einrichtung des Dewey'schen Apparates ist folgende: Eine hohe Metallstange ist gegen die Erde isoliert aufgestellt. Ihr oberes Ende krönt eine mit zahlreichen blanken Metallspitzen versehene Scheibe, die als Auffangevorrichtung der atmosphärischen Elektrizität dienen soll. Das untere Ende der Stange steckt in einem isolierenden Fuße, welcher auf einer in die Erde versenkten großen Metallplatte aufsteht. Zur besseren Ableitung der Elektrizität ist auch diese Platte mit Metallstacheln versehen und in Koks oder Metallschlacke eingebettet. Um die Wirkung des Apparates zu vergrößern, kann eine zweite Stange in der Nähe der ersten aufgestellt und mit dieser leitend verbunden werden. Das obere und untere Ende des isolierenden Fußes einer Stange sind zu Polen eines Stromkreises gemacht, so daß die oben einströmende atmosphärische Elektrizität erst diesen Stromkreis durchfließen muß, um zur Fußplatte und von da zur Erde zu gelangen. Auf diesem Wege durchfließt die Elektrizität die Akkumulatorenbatterie, deren Aufladung sie bewerkstelligen soll.

Damit auch bei wechselndem Vorzeichen des Potentialgefälles dennoch der Ladestrom in stets gleicher Richtung fließt, ist ein automatischer Stromwender eingeschaltet. Ein gleichfalls automatisch wirkender Stromunterbrecher verhindert, daß sich die Batterie selbsttätig entlädt, wenn das Potentialgefälle unter die Batteriespannung sinkt. Ein Blitzableiter sichert die Anlage gegen direkte Blitzwirkung und durch einen einfachen Stromschlüssel kann die Metallstange mit der Aspirationsvorrichtung direkt geerdet werden.

---

[1]) Dewey: United States Patent Office Pat. Nr. 414943; 12. Nov. 1889.

2) „Sammler atmosphärischer Elektrizität" von L. Palmieri.

Die Maschine von L. Palmieri[1]) beruht auf dem Prinzipe, daß ein in die freie Luft erhobener Konduktor + Elektrizität, ein zur Erde gesenkter — Elektrizität aufnimmt. Das Heben und Senken der Konduktoren wird durch eine einfache Drehung der Maschine mittels Kurbel oder Schnurlauf besorgt, wodurch fortgesetzt Elektrizität aus der Luft geschöpft und in Leydner Flaschen angesammelt werden soll. Die Konstruktion ist aus der schematischen Zeichnung Fig. 1, Tafel 1 zu ersehen.

In eine Holzscheibe a sind 8 isolierende Stangen b b' b'' ꝛc. eingesetzt, die ebensoviele Konduktoren l l' l'' ꝛc. tragen. Die Enden derselben begrenzen flache Scheiben c c' c'' ꝛc. von geringer Länge und Breite. An den Fußpunkten der Konduktoren stehen, nahe der Holzscheibe, kleine rechtwinkelige Vorsprünge r r' r'' ꝛc. hervor. Auf diesen schleifen 2 Metallzungen f_1 und f_2, die durch Drähte mit je einer Leydner Flasche H_1 und H_2 verbunden sind. Die ganze Maschine kann mit Hilfe einer Kurbel n oder eines Seiles ohne Ende k in sehr rasche Umdrehung versetzt werden. Dabei wird die + Ladung des jeweils nach oben stehenden Konduktors durch die Schleiffeder f_1 nach der einen Leydner Flasche H_1 geführt, die — Ladung des gerade nach abwärts stehenden Konduktors nach der anderen Flasche H_2. Bei genügender Dichte der Elektrizität in den Flaschen sollen zwischen x und y Funken überspringen.

Angaben über die Wirkung der Maschine verspricht Palmieri in einem späteren Berichte zu geben, doch konnte ich nichts mehr darüber finden.

3) Der „géomagnétifère" von F. Paulin.

Der „géomagnétifère"[2]) von F. Paulin in Montbrison benützt die Luftelektrizität nicht zu motorischen, sondern zu pflanzenphysiologischen Zwecken. Der Apparat besteht aus einer 12 bis 20 m hohen in die Erde gerammten Holzstange, deren Spitze einen starken Porzellanisolator trägt, in welchen ein Eisenstab aufrecht eingesetzt ist. Das oberste Ende desselben krönen 5 Kupferspitzen. Vom Eisenstab führt ein Draht isoliert die Holzstange herab und verzweigt sich ungefähr 30 cm tief unter

1) L. Palmieri: La lumière électrique 47; 506; 1893.

2) F. Paulin: Bulletin de la Société Belge d' Electriciens, Brüssel; Aprilheft Nr. 4; 132; 1893. Diese Zeitschrift wurde mir durch Herrn Geheimen Postrat, Professor Dr. K. Strecker gütigst zur Verfügung gestellt, wofür ich auch an dieser Stelle meinen Dank aussprechen möchte.

dem Erdboden nach 2 entgegengesetzten Richtungen ca. 60 m weit. In Abständen von 2 zu 2 m gehen senkrecht zu diesem Hauptdrahte dünnere Seitendrähte aus, die sich ebenfalls im Erdreich verbreiten.

Die Wirkung des Apparates beruht nach F. Paulin darin, daß durch die atmosphärische Elektrizität eine Anreizung auf die Pflanzen zur Mehraufnahme von Nahrungsstoffen aus dem Boden ausgeübt wird. Eine notwendige Bedingung ist dabei, daß die Erde feucht ist. Bei anhaltender Trockenheit muß die Leitung von der Stange nach dem unterirdischen Draht unterbrochen werden, weil sonst ein Verbrennen der Pflanzen eintritt.

Mehrere Jahre und an verschiedenen Orten wurde die Wirksamkeit dieses Apparates geprüft und dabei eine außerordentliche Förderung des Wachstums bei Spinat, Hafer, Runkelrüben, Bohnen, Lauch, Sellerie, Kartoffeln ꝛc. beobachtet; ja selbst die Güte der Weintrauben soll auf diese Weise erhöht worden sein. Dagegen nützt der Apparat nicht bei Pflanzen, die sich hauptsächlich durch ihre Blätter ernähren. Dies zeigte sich z. B. deutlich beim Klee.

Die Wirkungsweise des „géomagnétifère“ erklärt sich F. Paulin folgenderweise: Durch die Spitzen des Apparates findet ein Ausströmen der Elektrizität oder eine dunkle Entladung statt. Diese scheidet aus den im Erdreich enthaltenen Stickstoffverbindungen einen Hauptnährstoff der Pflanzen, Stickstoff aus, der sich dann mit der organischen Substanz der Pflanzenwurzeln verbindet.

4) A. Baudoüins Drachenversuch.

Von nicht minderer Bedeutung für die Landwirtschaft als der Apparat F. Paulins ist möglicherweise ein Projekt A. Baudoüins.[1])

Nach dessen Versuchen soll es möglich sein, Wolken dadurch zum Regnen zu bringen, daß ihnen mit Hilfe eines Franklin'schen Drachens Elektrizität entzogen wird.

5) „Netz zum Sammeln atmosphärischer Elektrizität“ von H. Rudolph.

H. Rudolph[2]) will durch ein patentiertes Verfahren große Akkumulatorenbatterien mit atmosphärischer Elektrizität laden. Die Vorrichtung hiezu ist in der Patentschrift folgenderweise beschrieben: „Gegenstand vorliegender Erfindung bildet ein durch einen Drachen-

---

[1]) A. Baudoüin: Fortschritte der Elektrotechnik 8; 304; 1894 und Zeitschrift für Elektrotechnik; Wien; 12; 231; 1894.

[2]) H. Rudolph: Deutsche Patentschr. Kl. 21, Patent Nr. 98180; 22. Juli 1898.

fesselballon in 1000 bis 2000 m Höhe zu haltendes, mit etwa 3,6 Millionen Nadeln besetztes, ungefähr 9 ha großes, gegen 700 kg schweres Netz zum Sammeln atmosphärischer Elektrizität, nebst den zur isolierten Ableitung erforderlichen Einrichtungen." Die beiden horizontalen Seiten des quadratischen Netzes bilden zwei 300 m lange Gußstahlröhren, zwischen denen 1200 vertikale Broncedrähte ausgespannt sind, die in Abständen von ca. 10 cm 1 cm lange feine Nadeln tragen. Um auch „die außerordentlichen, aber dem Vorzeichen nach rasch wechselnden elektrischen Spannungen der Gewitter- und Haufenwolken auszunützen", dient ein eigens konstruirter automatischer Kommutator.

Mit dieser Vorrichtung soll eine Akkumulatorenbatterie geladen werden. Die Möglichkeit einer solchen Ladung soll nach H. Rudolph durch die normalen elektrischen Verhältnisse gewährleistet sein. Für letztere nimmt die Patentschrift folgende Werte als meist vorhanden an: „Was das Potential der atmosphärischen Elektrizität betrifft, so ist nach zahlreichen Beobachtungen ein Potentialgefälle von 150 $\frac{\text{Volt}}{\text{m}}$ als stets vorhanden anzusehen. Für 1500 m Höhe würde dies 225000 Volt ergeben. Will man mit dem erhaltenen Strom eine Batterie von 20000 hintereinander geschalteten Akkumulatoren laden, so bedarf es einer Ladungsspannung von 45000 bis 50000 Volt, für die sich gerade noch die Isolation durchführen läßt. Daraus ergibt sich ein Spannungsabfall von 175000 Volt in der Umgebung des Netzes, der nach den Beobachtungen über die Leitfähigkeit der Luft bei größerem Potentialgefälle einen genügenden Strom sichert, besonders infolge der 3,6 Millionen feinen Spitzen und der steten Fortführung der entladenen Luftschichten durch den Wind."

6) „Stromsparer" von M. v. Leon.

Abweichend von den im Vorstehenden beschriebenen Verfahren will M. v. Leon[1]) eine praktische Verwertung der Luftelektrizität dadurch erreichen, daß er durch sie einen schon vorhandenen Batterie- oder Dynamomaschinenstrom zu verstärken sucht. Für den Konsumenten elektrischer Energie sollte der Apparat ein wirksames Mittel zur Stromersparnis sein, worauf auch der Name hindeutet. Die Konstruktion des v. Leon'schen Patentes ist aus Fig. 2, Tafel 1 ersichtlich.

[1]) Das Schriftchen: „Wahrheitsbeweis der Möglichkeit, die atmosphärischen Elektrizitäten ausnützen zu können, erbracht durch Moriz Reichsritter v. Leon", Wien 1898, erscheint nicht mehr im Buchhandel. Durch Vermittlung meines Buchhändlers ist es mir gelungen, dasselbe vom Sohn des verstorbenen Erfinders zu erhalten.

Am Dachfirst eines Gebäudes sind auf gut isolierten Streben mehrere Metallkugeln a angebracht, die nach oben gerichtete Saugspitzen tragen. Jede Kugel ist durch eine Drahtleitung L mit dem zugespitzten weichen Eisenkern je eines Solenoides b verbunden. Diese Solenoide (Fig. 2a) sind ca. 1 m über dem Erdboden an isolierenden Stützen in der Richtung des magnetischen Meridians und unter dem magnetischen Inklinationswinkel geneigt aufgehängt. Von der unteren Spitze des Solenoidkernes führt ein Draht L_1 zu einer Geißler'schen Röhre C, deren obere Elektrode als Kugel und deren untere Elektrode als Spitze ausgebildet ist (Fig. 2b). Von letzterer setzt sich die Leitung bis zu einer Metallkugel d fort, welche leitend mit der Erde in Verbindung steht. Die Enden L_2 und L_3 der Wicklung des Solenoides werden mit den Polen einer Gleichstrommaschine oder einer Batterie verbunden.

Die Wirkungsweise seines Apparates denkt sich v. Leon folgenderweise: „Die Spitzen ziehen die Elektrizitäten an, deren Ausgleich im toten Punkte, der Mitte des Eisenstabes erfolgt . . ." „Erst dieser Ausgleich, welcher in Form von ungemein rasch aufeinanderfolgenden Entladungen besteht, bewirkt die Verstärkung des äußeren Teiles des Stromkreises, welcher zwischen den beiden Einschaltungsstellen der atmosphärischen Elektrizitäten liegt. Diese Verstärkung bewirkt nun bei gleicher Belastung einen Minderverbrauch, also Ersparnis an der Stromquelle, oder ermöglicht bei gleichem Stromverbrauche im selben Verhältnisse eine Erhöhung der Belastung." In einer späteren Ausführung dieser Vorrichtung wurde die Luftleitung als überflüssig ganz weggelassen und allein das Solenoid mit dem beiderseits fein zugespitzten Eisenkern verwendet. In dieser Gestalt wurde der Apparat an die Konsumenten elektrischer Energie abgegeben und im Jahre 1898 waren in Wien über 100 „Stromsparer" bei Gleich- und Wechselstrom in Verwendung und sind dort zum Teile noch heute in Gebrauch.[1]) Zahlreiche Gutachten[2]) über die Vorzüglichkeit des v. Leon'schen Apparates liegen vor und bestätigen eine mit Hilfe des Elektrizitätszählers gemessene Stromersparnis bis zu 40 %.

Zum Schlusse dieser Beispiele sei noch eine Mitteilung der Tagesblätter (Juni 02) über die neueste Erfindung auf diesem Gebiete angeführt. Hienach soll Clemente Figueras in Las Palmas (Canarische Inseln) einen Apparat konstruirt haben, der aus der Luft einen elektrischen Strom entnimmt von 550 Volt Spannung, mit dem der Erfinder sein Haus beleuchtet und einen 20pferdigen Motor treibt.

[1]) Briefliche Mitteilung des Herrn Raimund Reichsritter v. Leon vom 4. Juni 1903.

[2]) Siehe das v. Leon'sche Schriftchen S. 14 ff.

II. Die atmosphärische Elektrizität als Störungsquelle in technischen Betrieben.

Im folgenden sei der Einfluß der Luftelektrizität auf elektrische Betriebe betrachtet. Hier stellt sie sich als Quelle zahlreicher und oft recht bedeutender Störungen dar, wie an der Hand besonders charakteristischer Beispiele gezeigt werden soll.

1) Vor allem ist es die Gewitterelektrizität, die die schwersten Störungen und Beschädigungen an elektrischen Anlagen, wie Elektrizitätswerken, Telephon- und Telegraphenanlagen hervorzubringen vermag. Der Angriff erfolgt hiebei auf die Freileitungen durch Erzeugung fremder Ströme in denselben, die wie H. Müller[1]) näher ausführt, durch folgende Ursachen entstehen können:

a) durch unmittelbaren Blitzschlag in die Leitung,
b) durch sekundäre Wirkung benachbarter atmosphärischer momentaner Entladungen (Blitze und Wetterleuchten),
c) durch Anprallen elektrisch geladener Teilchen an die Leitung, z. B. bei trockenem Winde und trockenem Schneegestöber.

Naturgemäß kann das direkte Einschlagen des Blitzes in eine Freileitung die schwersten Beschädigungen der damit verbundenen Apparate zur Folge haben. Dies zu verhindern ist trotz der besten Blitzableiterkonstruktionen noch nicht vollkommen gelungen.[2]) So wurde z. B. erst am 14. April 1902 während eines über Berlin niedergehenden Gewitters die Oberleitung mehrfach getroffen und stark beschädigt, ohne daß die vorhandenen Blitzableiter die Entladungen zur Erde abgeleitet hätten. Auch die mit der Oberleitung in Verbindung stehende Kabelleitung der Berliner Elektrizitätswerke wurde auf einer langen Strecke völlig zerstört.[3]) Es liegt auf der Hand, daß weit verzweigte Oberleitungen, wie z. B. die des Reichstelegraphengebietes besonders stark von den störenden Einwirkungen der Gewitterelektrizität betroffen werden. Sehr deutlich zeigen dies die Erhebungen, welche vom Deutschen Reichstelegraphenamte in den Jahren 1882 bis 1886 angestellt wurden. Man kann sich von der Größe dieser Beschädigungen leicht eine Vorstellung machen, wenn man nachstehende Zusammenstellung für das Jahr 1883 überblickt:[4])

„Von 899 135 Telegraphenstangen wurden 246 durch den Blitz völlig unbrauchbar, 816 mehr oder weniger beschädigt.

---

1) H. Müller: Elektrotechn. Zeitschr. 22; 601; 1901.
2) Gola: ebenda 23; 455; 1902.
3) K. Wilkens: ebenda 23; 577; 1902.
4) J. Ludewig: ebenda 5; 149; 1884.

Von 2848062 Isolatoren wurden 171 zertrümmert, 32 aus den Stangen herausgerissen.

Bei einer Drahtlänge von 184553,79 km der oberirdischen Leitungen wurde der Draht in 17 Fällen geschmolzen oder zerrissen, in 9 Fällen wurden die Bestandteile der Zusammenlötung beschädigt.

Bei 9028 Galvanoskopen erfuhren 14 eine Zerschmelzung der Umwindungsdrähte, bei einem wurde die Glasscheibe zertrümmert, bei 75 Galvanoskopen wurde die Magnetnadel entmagnetisiert.

Bei 13 Relais, sowie bei 11 Fernsprechern von 3097 und bei 13 Morseapparaten von 8770 wurde die Drahtumwicklung geschmolzen.

An 16883 Schneiden und Plattenblitzableitern sind in Fällen, in welchen sie der Ableitung der elektrischen Entladung zur Erde gedient hatten, 91 Widerstandsrollen geschmolzen und 56 Plattenpaare zusammengeschmolzen. Von 4756 Stangenblitzableitern sind 7 beschädigt worden.

An 3867 Spindelblitzableitern bei den Fernsprechern sind 470 Abschmelzdrähte geschmolzen."

Dabei weist aber das Jahr 1883 noch die geringste Anzahl von Schadenfällen unter den Beobachtungsjahren 1882—1886 auf, wie die im Jahre 1887 veröffentlichte Zusammenstellung zeigt.[1] Auch die oberirdischen Telephonleitungen und selbst die wohlgeschützten mit zahlreichen Erdleitungen versehenen Telephonnetze einer Stadt bleiben von direkten Blitzschlägen nicht verschont,[2] wenn auch solche Fälle selten sind.[3]

Neben diesen Beschädigungen der technischen Einrichtungen der Telegraphen- und Telephonämter bewirkt die Gewitterelektrizität auch vielfach eine Störung des Betriebes. Hier sind es besonders die durch Influenz vorüberziehender Gewitterwolken in den Leitungen entstehenden und freiwerdenden Elektrizitätsmengen und die durch einen Blitz in ihnen induzierten Ströme, welche Telephon- und Telegraphenapparate in unbeabsichtigte Tätigkeit versetzen. In Telephonzentralen findet während eines Gewitters häufig ein Fallen der Nummerndeckplatten statt, der Beamte sieht zuweilen auch einen Feuerschein und verspürt beim Berühren des Telephons unangenehme Zuckungen. Diese Störungen können bei heftigen Gewittern einen ganz bedeutenden Umfang annehmen, wie z. B. der von H. Meidinger[4] geschilderte Fall in Karlsruhe beweist.

[1] Elektrotechn. Zeitschr. 8; 492; 1887.
[2] Ankerson: „Blitzschlag in das Telephonnetz Nürnberg" Elektrotechn. Zeitschr. 20; 459; 1899.
[3] R. Weber: „Handbuch der Telephonie" Wien 1899; S. 89.
[4] H. Meidinger: „Geschichte des Blitzableiters", Karlsruhe 1888; S. 223.

Am 17. Juni 1886 nachmittags 4 Uhr wurden durch einen einzigen Blitzschlag die Telephonleitungen nahezu der ganzen Stadt störend beeinflußt.

Ja sogar Orte, die mehrere km vom Gewitterort entfernt sind, können unter diesen Störungen zu leiden haben.[1])

Bei den Telegraphenapparaten äußert sich die störende Wirkung der durch den Blitz erzeugten fremden Ströme so, daß dadurch ganze Worte und halbe Sätze, sowohl beim Typendruck-, als auch beim Morseapparat ausbleiben, wodurch unter Umständen eine Verständigung unmöglich wird.[2]) Von den schädlichen Einwirkungen der Gewitterelektrizität werden aber nicht nur die oberirdischen Leitungen, sondern auch die Kabelleitungen betroffen, wenn auch in geringerem Maße.[3]) Auf letztere ist dieser Einfluß besonders groß, wenn das Gewitter gerade über einer Erdleitung zur Entladung kommt,[4]) oder wenn das Kabel eine besonders exponierte Lage, wie bei Telegraphenleitungen nach Bergstationen hat.[5]) Neuere Beobachtungen haben gezeigt, daß sogar bei fernen Gewittern atmosphärische Entladungen trotz tadelloser Beschaffenheit der Blitzableiter und deren Erdleitungen zuweilen durch die Umwicklungen der Elektromagnete an Telegraphenapparaten gehen und zu den erwähnten Betriebsstörungen Anlaß geben.[6])

Nach den vorstehenden Ausführungen könnte man meinen, daß die oberirdischen Leitungen atmospärische Entladungen begünstigen, daß also z. B. das dichte Telephonnetz über einer großen Stadt eine stete Gefahr für die darunterliegenden Gebäude bedeutet. Aber gerade das Gegenteil ist der Fall. Sehr deutlich ergibt sich dies aus den Erhebungen der deutschen Reichstelegraphenverwaltung. Hienach entfallen an Hausbeschädigungen auf je 100 000 Gebäude in Orten mit Fernsprecheinrichtungen 18,7, in Orten ohne solche 64,6.[7]) Zu den gleichen Ergebnissen führten auch die in belgischen Städten angestellten Beobachtungen.[8])

Zum Schlusse dieser Betrachtung sei noch erwähnt, daß in Amerika auch eine höchst gefährliche Einwirkung der Gewitterelektrizität auf die elektrisch betriebenen Eisenbahnsignale beobachtet wurde. Während eines Gewitters wurden in Palmen, Vr. St. A.

---

1) R. Weber: „Handbuch der Telephonie" Wien 1899; S. 89.
2) J. Ludewig: Elektrotechn. Zeitschr. 2; 7; 1881.
3) Maßmann: Elektrotechn. Zeitschr. 1; 93; 1880 und J. Ludewig: ebenda 5; 148; 1884.
4) J. Ludewig: ebenda 2; 8; 1881.
5) G. H. Böhmer: Wiener Akad. Ber. 97; II a; 638; 1888.
6) H. Zielinski: Elektrotechn. Zeitschrift: 14; 319; 1893.
7) Archiv für Post und Telegraphie, Berlin: 24; 467; 1896.
8) Fortschritte der Elektrotechnik 5; 204; 1891.

diese Signale mehrmals verriegelt und wieder entriegelt, wodurch eine ernste Gefahr für die Züge eintrat.[1])

Die Ladung von Fernleitungen durch unmittelbare Uebertragung von atmosphärischer Elektrizität kommt in der Praxis weniger häufig vor; sie hängt von den klimatischen Verhältnissen und von der Gestaltung des von der Leitung überquerten Terrains ab.

2) Außer der Gewitterelektrizität vermag auch eine andere Erscheinungsform der atmosphärischen Elektrizität den telegraphischen und telephonischen Betrieb zu stören, nämlich das Nordlicht. Wenn auch die Ursache desselben noch nicht völlig klar liegt, so steht doch fest, daß diese Erscheinung elektrischer Natur ist.[2]) Derartige Entladungen hat S. Lemström[3]) künstlich hervorgerufen und dabei das charakteristische Spektrum des Nordlichtes beobachtet, wodurch das elektrische Wesen der Polarlichter ohne Zweifel bewiesen ist.

Zufolge der Verwandtschaft dieser Entladungserscheinungen mit denen der Gewitter müssen auch deren Einwirkungen auf die Telephon- und Telegraphenleitungen ähnliche sein. Dies ergaben denn auch die in verschiedenen Ländern darüber angestellten Beobachtungen, namentlich auch die Erhebungen der Deutschen Reichstelegraphenverwaltung anläßlich der Polarlichterscheinungen vom 11. bis 14. August 1880, vom 12. bis 17. November 1882 und vom 15. März 1885. Nach den Berichten J. Ludewigs[4]) werden durch die Nordlichter vorzugsweise die längeren, durch Gewitter besonders die kürzeren Telegraphenleitungen störend beeinflußt. Es treten fremde Ströme, sog. Erdströme, von verschiedener Intensität und Dauer in den oberirdischen, namentlich aber in den unterirdischen Leitungen auf. Sie führen ein Kleben des Ankers beim Morseapparat und ein häufiges Ausbleiben der Zeichen beim Typendruckapparat herbei. Wenn auch diese Störungen durch Polarlichter nicht sehr häufig sind, so verbreiten sie sich doch eintretenden Falles über einen sehr großen Teil der Erdoberfläche. Dies zeigte sich z. B. bei der im April 1883 in Amerika aufgetretenen großen Nordlichterscheinung, die so starke Störungen in den Telegraphenleitungen hervorrief, daß ein Verkehr auf den weit ausgedehnten Linien vollständig unmöglich war.[5])

---

[1]) Fortschritte der Elektrotechnik: 1; 806; 1887.
[2]) C. Liebenow: D. atmosphärische Elektrizität ꝛc. Halle a. S. 1900; S. 33.
[3]) Förster: Elektrotechn. Zeitschr. 4; 98; 1883 (Referat).
[4]) J. Ludewig: Elektrotechn. Zeitschr. 1; 10; 1880 und 3; 450; 1882. Archiv für Post und Telegraphie, Berlin 13; 51; 1885.
[5]) Elihn Thomson: „Atmospheric Electricity and Lightning Protection", Schenectady (N.-Y.) 1901; S. 6.

Selbstverständlich werden auch die viel empfindlicheren Telephonapparate durch Nordlichterscheinungen gestört. [1])

3) Eine weitere hierher gehörige Quelle von Betriebsstörungen durch Erzeugung fremder Ströme in den Kabelleitungen bilden die Erdströme. Werden 2 Punkte der Erde durch einen Draht verbunden, so bemerkt man darin einen elektrischen Strom. Dieser Fall liegt vor bei Telegraphen- und Telephonleitungen, deren Enden mit Erdplatten verbunden sind. Ein Teil dieser Ströme mag durch elektrische Potentialdifferenzen zwischen den verschiedenen Teilen der Erde verursacht sein, die sich durch die Leitung stetig ausgleichen. Genauere Untersuchungen [2]) haben aber gezeigt, daß dies die alleinige Ursache nicht sein kann. Das gleichzeitige Auftreten starker Erdströme und großer Polarlichterscheinungen, wie dies z. B. besonders deutlich im Jahre 1859 in Nordamerika beobachtet wurde, [3]) läßt erkennen, daß die Erdströme in einem innigen Zusammenhang mit den mächtigen elektrischen Strömungen in der Atmosphäre stehen, vielleicht durch sie verursacht werden. Aehnlich, wie das Nordlicht, können auch die Erdströme weit ausgedehnte Störungen im Telegraphenbetrieb bewirken. So wurden am 9. Januar 1886 in fast allen Kabeln der Eastern Telegraph Co. Ströme bemerkt, die sich über die halbe Welt ausdehnten. [4]) Am 30. März 1886 wurde der Telegraphenbetrieb ganz Wiens durch starke tellurische Ströme gestört. [5])

In besonders heftiger Weise können diese Fremdströme die außerordentlich empfindlichen Telephonapparate beeinflussen. [6]) Schon in ganz kurzen Linien (unter 2 km) wurden Erdströme beobachtet, welche die Verständigung sehr erschwerten oder eingeschaltete Relais dauernd magnetisierten. [7])

4) Selbst die geringen Mengen atmosphärischer Elektrizität, die durch den Regen den Telephonleitungen zugeführt werden, können Anlaß zu Störungen geben. Beim Niedergehen eines kräftigen Regens hört man ein Rauschen im Telephon, ähnlich dem eines fernen Wasserfalles, durch das die Verständigung vollständig verhindert werden kann. [8]) Da namentlich Gewitter-

---

[1]) Elektrotechn. Zeitschr. 15; 588; 1894.
[2]) B. Weinstein: „Die Erdströme im deutschen Reichstelegraphengebiet", Braunschweig 1900.
[3]) Förster: Elektrotechn. Zeitschr. 22; 333; 1901.
[4]) Zeitschrift f. Elektrotechnik, Wien 4; 140; 1886.
[5]) ebenda: 4; 276; 1886.
[6]) M. J. Baureux: Elektrotechn. Zeitsch. 9; 109; 1888.
[7]) Fortschritte d. Elektrotechnik 8; 593; 1894.
[8]) Hugo Müller: Zeitschr. für angewandte Elektrizitätslehre, München-Leipzig, 5; 129; 1883.

und Platzregen stark elektrisch sind,[1]) so läßt sich mit A. Hottenroth[2]) ihr störender Einfluß auf die Telephone durch eine plötzliche Zuführung von Elektrizität in wechselnder Stärke durch gleichzeitig auffallende Regentropfen erklären.

5) Aber nicht nur die außergewöhnlichen Erscheinungsformen der atmosphärischen Elektrizität, sondern auch die normale elektrische Leitfähigkeit der Luft spielt bei elektrischen Betrieben eine wichtige Rolle. Und zwar sind es zwei, erst in neuester Zeit zur Verwendung gekommene Arten elektrischer Energie, bei deren Gebrauch sich die Luftelektrizität sofort als hemmende Kraft erwies, nämlich hochgespannte Wechselströme und elektrische Strahlen bei der Funkentelegraphie.

Betrachten wir zuerst den Einfluß des atmosphärischen Leitungsvermögens auf die Uebertragung hochgespannter Wechselströme. Ein nicht unbeträchtlicher Teil der Anlagekosten einer elektrischen Arbeitsübertragung auf weite Strecken entfällt auf die Freileitung. Es kann daher nicht verwundern, wenn die Technik bestrebt ist, durch Erhöhung der Spannung den Querschnitt und damit die Kosten der Leitung mehr und mehr herabzudrücken. Durch die modernen Wechselstrommaschinen und Transformatoren ließen sich außerordentlich hohe Spannungen erreichen, wenn nicht durch die atmosphärische Leitfähigkeit bald eine Grenze gesetzt wäre. Die Versuche an der Wechselstromübertragungsanlage in Telluride[3]) (Colorado) haben gezeigt, daß die Hauptverluste nicht etwa durch die Isolatoren verursacht werden, wie man meinen möchte, sondern durch Uebergang von Elektrizität zwischen den Leitungsdrähten durch die Luft. Diese Verluste nehmen bei einer bestimmten Drahtentfernung außerordentlich rasch zu, sobald eine gewisse („kritische") Spannung erreicht ist. Für einen sicheren Betrieb ist erfahrungsgemäß eine Uebertragungsspannung von 20 000 Volt die äußerste Grenze.

Auch in die Funkentelegraphie greift die Elektrizität der Atmosphäre störend ein. Schon bei den ersten Versuchen Marconis auf Flatholm[4]) wurde der Empfängerdraht durch Elektrizität aus der Luft geladen. Bei den damals verwendeten wenig empfindlichen Frittröhren waren aber die Wirkungen dieser Ladung so gering, daß sie das Telegraphieren nicht störten. Anders bei den Versuchen von A. Slaby an der Havel. Dort bewirkte die Luftelektrizität unregelmäßige Zeichen am Morseapparat des Empfängers, die nicht vom Sender herrührten.

[1]) J. Elster u. H. Geitel: Wiener Akad. Ber. 99, II a; 437; 1890.
[2]) A. Hottenroth: Zeitschrift f. angewandte Elektrizitätslehre, München-Leipzig 6; 628; 1884.
[3]) Ch. F. Scott: Elektrotechn. Zeitschr. 20; 118 u. 154; 1899.
[4]) A. Slaby: „Die Funkentelegraphie" Berlin 1897; S. 24.

Noch unangenehmer machte sich dieser störende Einfluß bei den größeren Versuchen zwischen Rangsdorf und Schöneberg geltend,[1]) bei denen als Sende- und Empfangsdraht die Fesselkabel zweier Drachenballons dienten. Selbst wenn nicht telegraphiert wurde, arbeitete der Empfänger fortwährend in Punkten und Strichen, welche durch elektrische Ströme aus der Luft hervorgebracht wurden. Viele dadurch bewirkte Mißerfolge rechtfertigen die Klage A. Slabys:[2]) „Wer sich praktisch mit Funkentelegraphie beschäftigt hat, weiß, wie unerträglich häufig die Störungen sind, welche die Luftelektrizität herbeiführt." Erst bei der neuen Anordnung ist es Slaby-Arco durch Erdung der Fangdrähte gelungen, die Störungen durch atmosphärische Elektrizität stark zu vermindern. Selbst bei einem Gewitter läßt sich damit telegraphieren.[3]) Wenn demnach auch dieser störende Einfluß der Luftelektrizität nahezu beseitigt ist, so bleibt doch noch ein anderer. Es findet nämlich eine mit der Leitfähigkeit der Luft zunehmende Dämpfung der Strahlen elektrischer Kraft statt,[4]) wodurch beträchtliche Verluste bewirkt werden können.

Die vorstehenden Betrachtungen rechtfertigen C. Liebenow's[5]) treffende Worte: „Die elektrischen Erscheinungen der Erde und ihrer Atmosphäre bieten ja für den Elektrotechniker insofern besonderes Interesse, als er fast im beständigen Kampfe mit ihnen lebt;" und weiter: „Je genauer wir aber unseren Feind kennen, um so mehr Aussicht haben wir, uns seiner mit Wirksamkeit zu erwehren." Wenn wir Techniker, sagt Liebenow an einer anderen Stelle des gleichen Vortrages, im allgemeinen auch nicht viel von der Elektrizität bei heiterem Himmel merken, so müssen wir doch diese erst studieren, wenn wir die stärkeren Wirkungen der atmosphärischen Elektrizität, namentlich der Gewitter verstehen wollen.

Die wirkliche Bedeutung aller Versuche, die störenden Einwirkungen der Luftelektrizität zu beseitigen oder letztere praktisch zu verwerten, ließ sich erst von dem Momente an einer genauen Würdigung unterziehen, in welchem man die hier in Betracht kommenden Größen in absolutem Maße bestimmen konnte. Die Messungen, die darüber vorliegen, seien im folgenden kurz beschrieben.

---

1) A. Slaby: Funkentelegraphie, S. 39.

2) Derselbe: Elektrotechn. Zeitschr. 22; 42; 1901.

3) Derselbe: „Die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Funkentelegraphie"; Berlin 1901, S. 24.

4) Derselbe: Elektrotechn. Zeitschr. 23; 168; 1902.

5) C. Liebenow: Elektrotechn. Zeitschr. 21; 962; 1900.

III. Messung der atmosphärischen Elektrizität in absolutem Masse.

a) Die bei Gewitterentladungen auftretenden Spannungen und Stromstärken in Volt und Ampère zu messen, ist bisher in einigen Fällen gelungen, wenn es sich hier naturgemäß auch nur um die Ermittlung der Größenordnung handeln kann.

1) W. Kohlrausch [1]) geht bei seiner Berechnung der Elektrizitätsmenge des Blitzes von der Beobachtung aus, daß Blitze, die eine Kupferleitung von 5 mm^2 Querschnitt schmelzen, nicht selten sind. Um 1 m einer solchen Kupferleitung, dessen Gewicht 44,5 g ist, auf den Schmelzpunkt (1200 ° C) zu erhitzen, sind ca. 6700 g-cal. notwendig. Es läßt sich somit bei bekanntem Widerstande (= 0,01 Ohm) und bekannter Zeitdauer eines Blitzes die Stromstärke, die diese Wärmemenge zu liefern vermag, aus dem Joule'schen Gesetze berechnen. Kohlrausch nimmt nun die Dauer eines Blitzes zu 0,001 sec bis 0,03 sec an und erhält dadurch zwei Grenzwerte für die Stromstärke i, nämlich $i_1 = 52000$ Ampère und $i_2 = 9200$ Ampère, also Elektrizitätsmengen E von $E_1 = 52$ Coul. und $E_2 = 270$ Coul.

2) Auf ganz andere Weise hat F. Pockels [2]) die Maximalstromstärken von Blitzen bestimmt. Er ging von der Beobachtung aus, daß exponierte Basaltfelsen häufig einen starken polaren Magnetismus zeigen, der nach Pockels Versuchen durch elektrische Entladungen hervorgebracht wird. Aus dem Moment des remanenten Magnetismus eines Basaltstückes kann die maximale Stromstärke berechnet werden, die zur Herstellung dieser Magnetisierung notwendig war. F. Pockels fand nun durch künstliche Magnetisierung von Basaltprismen, daß die hiezu notwendige Stromstärke genügend genau mit der berechneten übereinstimmt. Diese Rechnung wurde nun für verschiedene Basaltstücke durchgeführt, die eine natürliche Magnetisierung durch Blitze erfahren hatten, die in nächster Nähe ihres Fundortes an Bäumen niedergegangen waren. Es ergaben sich dabei für aus verschiedene Gegenden stammende Basaltstücke maximale Stromstärken von 6450 Amp., 6600 Amp. und 10800 Amp., welche Werte als untere Grenzen anzusehen sind.

Später hat F. Pockels [3]) am Blitzableiter des Observatoriums auf dem Monte Cimone in den Appeninen ein Basaltprisma angebracht und aus dem remanenten Magnetismus, den es nach

[1]) W. Kohlrausch: Elektrotechn. Zeitschr. 9; 124 u. 125; 1888.
[2]) F. Pockels: Meteorologische Zeitschrift 15. 41 ff; 1898.
[3]) F. Pockels: Meteorologische Zeitschrift 18; 40; 1901 und Phys. Zeitschr. 2; 306; 1901.

einem starken Gewitter zeigte, eine maximale Stromstärke von 20000 Amp. berechnet.

3) E. Riecke[1]) berechnete die in einem Blitzschlage nach der Erde zum Ausgleich kommende Elektrizitätsmenge unter der Annahme, daß zur Entstehung des Blitzes dasselbe Potentialgefälle erforderlich sei, wie bei der Entladung zweier in Luft sich gegenüberstehender Konduktoren. Dabei wurde die elektrische Wolke als kugelförmiger Konduktor von 600 m Durchmesser aufgefaßt. Als weitere Grundlage der Rechnung nahm E. Riecke die Länge des Blitzes zu 300 m an, wie sie sich aus den Blitzphotographien Kayſers ergibt und als Entladungspotentialgefälle 32000 Volt per cm, wie es durch Versuche Heydweilers gemessen wurde. Mit diesen Annahmen berechnen sich Elektrizitätsmengen von 43 Coul. und 98 Coul. für Wolkenentfernungen von 600 m und 300 m.

4) C. Liebenow[2]) berechnet die Elektrizitätsmenge eines Blitzes aus der von ihm aufgestellten Theorie der atmosphärischen Elektrizität. Hienach soll durch einen von der Erde nach den höheren kalten Luftschichten aufsteigenden Wärmestrom + Elektrizität nach oben, — nach unten getrieben werden, bis die immer größer werdenden elektrostatischen Anziehungskräfte jenen elektromotorischen Kräften das Gleichgewicht halten. Aus dieser Theorie ergeben sich nach Liebenow Elektrizitätsmengen des Blitzes von ca. 3 Coul.

Neben diesen mehr allgemeinen Berechnungen wurden auch solche angestellt, die aus der genau bekannten Wirkung eines bestimmten Blitzschlages die hiezu notwendig gewesene Stromstärke ermitteln.

5) Dies hat z. B. Hoppe[3]) für einen Blitzschlag durchgeführt, der im Juli 1881 ein Wohnhaus am Fuße der Brennerhöhe bei Klausthal getroffen hatte. Auf seinem Wege sprang der Blitz von der Regenröhre nach einem in der Nähe stehenden Holzpfosten über und brachte 2 dort eingeschlagene Eisennägel von 4 mm Dicke und 20 mm Spitzenabstand zum Schmelzen. Die Nägel ragten in eine durch Ausfaulen hohl gewordene Stelle des Holzpfostens, so daß sich zwischen ihren Spitzen eine isolierende Luftschicht befand. Auf Ersuchen Hoppes hat die Firma Siemens & Halske künstlich eine Schmelzung solcher Eisennägel erzeugt, wobei Stromstärken von 200 bis 250 Amp. notwendig waren, während zum Durchschlagen der 20 mm dicken Luftschicht 20000 Volt aufgewendet werden mußten. Aus diesen Werten

---

1) E. Riecke: Nachrichten v. d. k. Gesellschaft der Wissensch. z. Göttingen; Math. physikal. Klasse. 12; 419; 1895.
2) C. Liebenow: Elektrotechn. Zeitschr. 21; 963 u. 964; 1900.
3) Hoppe: Archiv für Post u. Telegraphie, Berlin; 22; 435; 1894.

berechnete Hoppe, daß zur Erzielung dieser Wirkung bei 1 sec Dauer der Blitzentladung 4000000 Volt-Ampère nötig waren oder 40000000 Volt-Ampère, wenn die Entladung nur 1/10 sec dauerte.

6) Daß aber ein Blitz noch viel größere Schmelzwirkungen hervorzubringen vermag, hat sich erst wieder bei einem am 14. April 1902 über Berlin niedergegangenen Gewitter gezeigt. Ein einziger Blitzstrahl schmolz ein 22 m langes Kupferkabel von 500 mm^2 Querschnitt und 180 kg Gewicht.[1]) Zu dieser Schmelzarbeit ist nach einer Rechnung C. Streckers[2]) eine Energiemenge von rund 20 Kilowatt-Stunden notwendig, die der Blitz geliefert haben mußte. Um dies zu bewerkstelligen, muß der Blitz nach Streckers Annahme rund eine Elektrizitätsmenge von 1000 Coulomb bei 10000 Volt Spannung mit sich geführt haben.

7) Derartige Schätzungen finden sich wiederholt in der Literatur. So beobachtete Wurts[3]) einen Blitzschlag, der von einem Baume auf eine mittels Isolators daran befestigte Telephonleitung übersprang und den Telephonapparat verbrannte. Aus den Wirkungen schätzt Wurts die Stromstärke dieses Blitzes auf mehrere Tausend Ampère.

8) Lodge[4]) ahmte durch große Elektrisiermaschinen die Wirkung von Blitzen nach und schätzt nach diesen Versuchen die Stromstärke zu Tausenden von Ampère, die durch Millionen von Volt getrieben werden.

9) Der gleichen Ansicht ist Elihu Thomson,[5]) der ebenfalls die Stromstärke eines Blitzes zu vielen Hunderten von Ampère und seine Spannung zu Millionen von Volt annimmt.

b) Viel wichtiger für unser Problem ist die quantitative Kenntnis der nie vollkommen fehlenden Ladungserscheinungen des Luftmeeres, welche in einem mehr oder weniger hohen Spannungsgefälle in der Atmosphäre oberhalb der Erdoberfläche zum Ausdruck kommen. Messungen des Spannungsgefälles[6]) wurden schon bald nach der Entdeckung der Luftelektrizität vorgenommen, anfänglich freilich mit recht unzulänglichen Mitteln.

---

[1]) K. Wilkens: Elektrotechn. Zeitschr. 23; 577; 1902.
[2]) C. Strecker: ebenda 579.
[3]) Wurts: Fortschritte der Elektrotechn. 12; 993; 1898 (Referat.)
[4]) Lodge: Elektrotechn. Zeitschr. 10; 44, 1889 u. Meteorol. Zeitschr. 7; 69, 1890 u. 10; 401, 1893.
[5]) E. Thomson: „Atmospheric Elektricity and Lightning Protection"; Schenectady (N.-Y.) S. 7; 1901.
[6]) F. Exner: Wiener Akademie-Ber. 93 IIa; 1886; 226.

Seither haben die Beobachtungsmethoden und Apparate [1]) mannigfache Wandlungen und Verbesserungen erfahren und zahlreiche Messungsergebnisse von Orten, die über die ganze Erde zerstreut sind, liegen vor. Leider sind die älteren Resultate nur von geringer Bedeutung, da sie untereinander nicht vergleichbar sind. Erst nach F. Exners rationellem Vorgang, der die Feldstärke über einem ebenen Stücke der Erdoberfläche als Norm zu Grunde legte, kam Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit in die Messungen des elektrischen Erdfeldes. Somit verdanken wir erst den neueren Messungen des Potentialgradienten durch Lord Kelvin [2]) A. Roiti [3]), F. Exner, [4]) Elster und Geitel [5]) und Anderen einen richtigen Einblick in die quantitativen Verhältnisse des elektrischen Feldes an der Erdoberfläche. Diese Kenntnisse wurden durch Messungen des Spannungsgefälles in größeren Höhen während Ballonfahrten wesentlich erweitert. Auch hier haben erst die neueren Freifahrten von Tuma, [6]) Börnstein, [7]) le Cadet [8]) und Baschin [9]) übereinstimmende und richtige Resultate geliefert. Fassen wir alle diese Beobachtungsergebnisse zusammen, so finden wir folgende feststehende Tatsachen: Bei heiterem Himmel besteht über der Erdoberfläche ein elektrisches Feld, dessen Niveauflächen dieser parallel laufen und dessen Potentialwerte mit steigender Höhe wachsen, während die Potentialgradienten abnehmen. Hieraus folgt schon aus den Lehren der Elektrostatik, [10]) daß die Erde — elektrisch ist. Das Komplement der Erdladung ist in Form freier + Elektrizität in einer Luftschicht über der Erdoberfläche zu suchen, die nach den Messungen im Freiballon bis ca. 5000 m hinaufreicht. Ueber die Größe der elektrischen Dichte an der Erdoberfläche und der pro Volumeneinheit in der Luft enthaltenen Elektrizitätsmenge sind verschiedentlich Rechnungen angestellt worden, welchen direkte Messungen des Potentialgefälles zu grunde liegen.

[1]) F. Exner: Wiener Akad. Ber. 93; 222; 1886. S. Günther: „Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie" II. Bd.; S. 162. 1885. J. Kollert: Elektrotechn. Zeitschr. 8; 285; 1887 und 10; 419; 1889.

[2]) Lord Kelvin: „Reprint of papers on electricity and magnetism", London. 192; 1884.

[3]) A. Roiti: La lumière électrique; 13; 462; 1884.

[4]) F. Exner: Wiener Akad. Ber.: 93 IIa; 222; 1886.

[5]) J. Elster u. H. Geitel: Wiener Akad. Ber. 98 IIa; 909 1889 u. 101 II; 703, 1892.

[6]) Tuma: Wiener Akad. Ber. 108, IIa, 227, 1899.

[7]) Börnstein: „Wissenschaftliche Luftfahrten", Braunschweig Bd. III, S. 277, 1900 u. Bd. II, S. 161 u. 176.

[8]) Le Cadet: „Etude du champ électrique de l'atmosphère", Annales de l'Univ. de Lyon, fasc. 35, 1898.

[9]) Baschin: „Wissenschaftl. Luftfahrten" II, S. 247 und III, S. 277.

[10]) C. Maxwell: „Die Elektrizität in elementarer Behandlung", deutsch von L. Grätz, Braunschweig 1883. S. 46.

So berechnet F. Exner[1]) die mittlere Dichte der — Elektrizität an der Erdoberfläche pr cm^2 aus seiner bekannten Theorie zu $m = -0{,}0035$ e. E.; die Gesamtladung der Erde zu $M = -2.10^{16}$ e. E.

C. Liebenow[2]) geht bei seiner Berechnung vom Poisson'schen Satz aus und legt der Abnahme des Potentialgradienten mit zunehmender Höhe eine einfache zweikonstantige Exponentialformel zu grunde, die sich eng an die von le Cadet bei seiner Ballonfahrt am 11. September 1897 gemessenen Werte des Potentialgefälles anschließt. Seine Rechnung liefert folgende Werte: Elektrische Dichte an der Erdoberfläche pr cm^2 $m = -1{,}7.\ 10^{-4}$ e. E. Ein dieser Menge gleiches + Elektrizitätsquantum ist nach C. Liebenow in einer senkrechten Luftsäule von 1 cm^2 Querschnitt verteilt, die von der Erdoberfläche bis an die obere Grenze der Atmosphäre reicht. Hienach befindet sich in der Nähe des Erdbodens im cm^3 eine + Elektrizitätsmenge von $6{,}5.\ 10^{-10}$ e. E. Der Gehalt an + Elektrizität der Luft nimmt rasch mit der Höhe ab, so daß sich die gesamte + Elektrizitätsmenge nahezu ganz in den unteren km findet. Die Menge der auf der Erdoberfläche verteilten — Elektrizität ergibt sich zu $M = -8{,}6.\ 10^{14}$ e. E. E. Riecke[3]) berechnet aus der Beziehung $E = 4\,p\,m$. Die Dichte der — Elektrizität pr cm^2 in e. st. E. mit Hilfe des für Wolfenbüttel geltenden Wertes des Potentialgradienten zu $m = -0{,}00059$ e. E.

Gerade die Verteilung freier Elektrizität in der Atmosphäre ist für unser Problem besonders wichtig. Es wäre daher von hoher Bedeutung, die Berechnungen dieser Größe, die doch immerhin auf Annahmen beruhen, durch eine direkte Messung zu kontrollieren. Dies ist nun in der Tat durch eine in neuester Zeit ausgearbeitete Methode gelungen.

Die ersten Versuche rühren von W. Linß[4]) her. Schon Pieter van Muschenbrock[5]) hatte 1776 bemerkt, daß wohl isolierte elektrisierte Körper ihre Ladung an die Luft verlieren. Genaue Messungen über das Gesetz dieser Ladungsverluste hat zuerst Coulomb[6]) mit Hilfe seiner Drehwage angestellt. W. Linß

---

[1]) F. Exner: Wiener Akad. Ber. 96, IIa, 456, 1887.
[2]) C. Liebenow: „Die atmosph. Elektr., ihre Verteilung und wahrscheinlichen Ursachen" Halle a. S. 1900, u. Elektrotechnische Zeitschr. 21, 962, 1900.
[3]) E. Riecke: Denkschrift der Kommission für luftelektr. Forschungen, München 1903, S. 31.
[4]) W. Linß: Elektrotechn. Zeitschr. 11, 506, 1890 und Meteorol. Zeitschr. 4, 352, 1887.
[5]) E. Hoppe: „Geschichte der Elektrizität" 21, 1884.
[6]) Ostwalds Klassiker, Uebersetzung von W. König 13, S. 46.

hat diesen Vorgang experimentell weiter verfolgt und wichtige Folgerungen für unsere Kenntnisse der atmosphärischen Elektrizität daraus gezogen. Seine Versuche veranlaßten J. Elster und H. Geitel[1]) mit wesentlich verbesserten Hilfsmitteln weitere Forschungen anzustellen, deren Ergebnis die Aufstellung einer neuen überraschenden Theorie der atmosphärischen Elektrizität war, nämlich die Annahme freier Jonen in der Luft. Hienach scheint die längst bekannte atmosphärische Leitfähigkeit elektrolytischer Natur zu sein, hervorgebracht durch kleinste im Luftmeere frei bewegliche Teilchen: Gasionen.[2]) Die natürliche Luft verhält sich also gerade so, wie solche, der durch Röntgen- oder Becquerelstrahlen eine künstliche Leitfähigkeit erteilt wurde.

Der Apparat von J. Elster und H. Geitel gestattet aber nur ein relatives Maß des Jonengehaltes der Luft abzuleiten und zwar aus der Geschwindigkeit, mit der die Ladung eines elektrisierten und wohl isolierten Körpers („Zerstreuungs-" oder besser „Spannungskörpers") durch die heranwandernden Jonen neutralisiert wird. Damit wäre aber für den Techniker, der eine Ausmessung der in der Luft enthaltenen Elektrizitätsmengen im absoluten oder im praktischen elektromagnetischen Maßsystem braucht, um ein Urteil über die mögliche gewerbliche Verwendbarkeit zu erhalten, nichts gewonnen. Glücklicherweise ist jedoch auch das in letzterer Zeit gelungen. Der „Aspirationsapparat" von H. Ebert[3]) gestattet die im m^3 in Form von + und − Jonenladung enthaltenen freien Elektrizitätsmengen direkt in absolutem Maße zu ermitteln. Messungen mit solchen Apparaten ergaben Elektrizitätsmengen von ca. $^1/_2$ e. E. im m^3 in der Nähe des Erdbodens. Es sind dies ungefähr 10^3 mal größere Werte als sie C. Liebenow (siehe S. 18) durch Rechnung fand; doch kann dies nicht verwundern, da in der Poisson'schen Formel nur die „freie Elektrizität", d. h. der Ueberschuß der + Ladung über die

---

[1]) J. Elster u. H. Geitel: Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity 4, 213, 1899 u. Annalen d. Physik II, 425, 1900 und H. Geitel: „Ueber die Anwendung der Lehre von den Gasionen auf die Erscheinungen der atmosphärischen Elektrizität", Braunschweig 1901.

[2]) J. J. Thomson: „Die Entladung der Elektrizität durch Gase" deutsch von Paul Ewers, Leipzig 1900, S. 137 und
G. Mie: „Die neueren Forschungen über Jonen u. Elektronen" Stuttgart 1903, S. 38 und
E. Riecke: Denkschr. der Kom. für luftelektr. Forschungen, München 1903, S. 16.

[3]) H. Ebert: Physikal. Zeitschr. 2, 662, 1901 und Illustrierte aëronaut. Mitteil. 6, 178 1902 u. 7, 10, 1903.

— im m^3 zum Ausdruck kommt, während der „Aspirationsapparat" den wahren Gehalt an + und — Elektrizität gesondert bestimmt. Bei derartigen Messungen, sei es nun mit dem Elster-Geitel'schen oder mit dem Ebert'schen Apparate, zeigt sich sogleich ein merkwürdiges Verhalten der atmosphärischen Leitfähigkeit, nämlich eine ausgesprochene Unipolarität. Für diese neue Größe haben auch Elster und Geitel ein Maß eingeführt. Ist a die in 1 Minute vom Spannungskörper entwichene Elektrizitätsmenge, ausgedrückt in % seiner ursprünglichen Ladung und zwar a+ für +, a— für — Ladung, so ist $q = \frac{a-}{a+}$ das Maß für die Unipolarität.

Ehe wir daran denken können, die praktische Bedeutung und und die Aussichten einer möglichen Ausnutzung der atmosphärischen Elektrizitätsquellen einer sachgemäßen Kritik zu unterwerfen, müssen wir erst die Gesetze der Elektrizitätsführung der atmosphärischen Schichten einigermaßen kennen lernen, ihre Größe bestimmen und ihre Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren feststellen. Ich habe daher auf Rat des Herrn Prof. Dr. Ebert eine Reihe von über 3 Jahre sich erstreckender Messungen nach den neuen Methoden ausgeführt und namentlich auch der apparat-technischen Seite derselben meine Aufmerksamkeit zugewendet.

2. Abschnitt.

I. Apparate.

1) Der Elster-Geitel'sche Zerstreuungs-Apparat.

Bei den meisten der von mir angestellten luftelektrischen Messungen fand der von J. Elster und H. Geitel konstruierte und durch O. Günther und Tegetmeyer in Braunschweig hergestellte „Zerstreuungsapparat" Verwendung. Eine genaue Beschreibung und Gebrauchsanweisung desselben haben wiederholt beide Forscher gegeben,[1]) so daß ich mich hier kurz fassen kann. Im Wesentlichen besteht der Zerstreuungsapparat aus einem Exner'schen Aluminium-

[1]) J. Elster u. H. Geitel: Terrestrial Magnet. and Atmosph. Electr. 4, 216, 1899. Physikal. Zeitschr. 1, 11, 1898 und 4, 137, 1902, Wiener Akad. Ber. 111, IIa, 946, 1902, Annalen d. Physik, IV, 2, 425, 1900.

blattelektroskope mit innerer Bernsteinisolation. Unmittelbar auf den Träger der Aluminiumblättchen kann der „Zerstreuungskörper", ein schwarz gebrannter Messingzylinder von 10 cm Höhe und 5 cm Durchmesser, aufgesetzt werden. Ueber diesen ist ein weiterer Metallzylinder („Schutzdach") gestülpt, der unten offen und oben durch einen abnehmbaren Metalldeckel geschlossen und konaxial zum Zerstreuungskörper gehalten ist. Diese Apparatteile und der weitere Zubehör sind unten noch näher besprochen. Hier seien einige kleine Abänderungen erwähnt, die ich am Apparate anbrachte, um ihn besonders für meine Messungen im freien Gelände geeigneter zu machen.

a) Aufstellung und Verpackung des Apparates.

Elster und Geitel setzen Elektroskop und Schutzdach auf einen Metalldreifuß, der auf den Deckel der Verpackungskiste gestellt wird. Das nach Eberts Vorschlag angebrachte Diopter[1]) kommt somit nur wenige dcm über den Erdboden zu stehen, was die Ablesung des Elektroskopes auf freier Ebene erschwert. Außerdem besitzt die Holzkiste und das Metallstativ ein ziemliches Gewicht, das sich bei längeren Märschen im Gelände oder bei Bergbesteigungen unangenehm fühlbar macht.

Dem allen kann durch eine einfache Vorrichtung abgeholfen werden. Eine kleine rechteckige Hartholzplatte H (Fig. 3 Taf. 1) wird auf ein leichtes photographisches Stativ aufgeschraubt. An jeder Schmalseite besitzt diese Holzplatte eine Durchbohrung. In die eine paßt der das Schutzdach tragende Stab S, in die andere der Elektroskophalter E mit dem Diopter D. Die Entfernung S E ist so abgemessen, daß die geometrischen Achsen von Schutzdach und Spannungskörper zusammenfallen. Stab S (Schutzdach) und Zapfen E (Elektroskopgehäuse) sind durch einen dünnen Kupferdraht mit einem Erdspieß verbunden. Beim Transport liegt das Elektroskop in einem Etui, das ins Innere des Schutzdaches geschoben werden kann. Die noch freibleibenden Zwischenräume füllen der Spannungskörper, die in ein Wachstuch eingeschlagene Zambonisäule und das erwähnte Holztäfelchen gerade aus. Das Diopter und der Stab S können in das zusammengeklappte Stativ gesteckt werden. So ist der ganze Apparat zu 2 größeren Teilen vereinigt, die bei kleineren Märschen in der Ebene an einem Riemen, bei Bergbesteigungen an einem Rucksack getragen werden. Bei der Aufstellung des Apparates ist darauf Bedacht zu nehmen, daß die Sonne nicht ins Elektroskop scheint. Ist dies der Fall

---

[1]) H. Ebert: Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity 4, 106, 1901.

so zeigen die Blättchen, wahrscheinlich infolge aufsteigender Luftströme im Inneren des Elektroskopgehäuses, einen größeren Ausschlag, als er der erteilten Spannung zukommt. Davon kann man sich leicht durch Vorhalten und Entfernen eines Schirmes überzeugen. Die Blättchen bewegen sich dabei beträchtlich, oft über 1 Skalenteil, was einer scheinbaren Spannungsänderung von ca. 10 Volt bei den mittleren Ausschlägen (von 150 bis 200 Volt) entspricht.

b) Das Elektroskop.

Eine genaue Beschreibung des von Elster und Geitel nach Exners Prinzip konstruierten Elektroskopes findet sich in den erwähnten Abhandlungen (Anm. S. 20). Ein Hauptvorteil desselben besteht in seiner hervorragenden Isolationsfähigkeit. Im folgenden seien die Ergebnisse einer Isolationsprüfung an einem neuen Elektroskop von O. Günther in Braunschweig angeführt. Diese Prüfungen geschahen stets so, daß das Instrument geladen wurde und dann bei geschlossenem Deckel mehrere Tage in einem zugfreien Zimmer sich selbst überlassen blieb. Das Elektroskopgehäuse war dabei geerdet. Während dieser Zeit wurde der Blättchenausschlag mehrmals abgelesen.

Tabelle 1.

Datum	Stunde	Mittel des Ausschlages	Volt
12. Febr. 1901	1^{20} p. m.	9,5	225
	7^{50} „	9,45	224,5
13. „	9^{30} a. m.	8,8	220,5
	1^{40} p. m.	8,7	219,5
	7^{40} „	8,1	215
14. „	11^{20} a. m.	7,6	210,5
	1^{20} p. m.	7,55	210

In 48 Stunden gingen also die Blättchen um 1,95 Skalenteile zurück, was einem Spannungsverluste von 15 Volt entspricht. Im Durchschnitt ergibt sich daraus ein Spannungsverlust von 0,3 Volt per Stunde.

Wiederholt konnte ich mich von der Wirksamkeit der Natriumtrocknung überzeugen. Bei Beobachtungen im Freien, während starker Tau oder Nebel einfiel, ging oft die Isolationsfähigkeit des Bernsteinstopfens verloren. In solchen Fällen erweist es sich als am wirksamsten, das Elektroskop mit neuem

Natrium zu versorgen und bei geschlossenem Deckel im Zimmer an die Sonne zu stellen. Nach mehrstündiger Trocknung hat die Isolation schon wieder ihre alte Güte erreicht.

So wurden z. B. am 5. Juli 1902 vor Sonnenaufgang, zu welcher Zeit eine Ballonfahrt zu luftelektrischen Zwecken von München aus stattfand, Messungen des Zerstreuungsvermögens und des Potentialgefälles auf freier Wiese nahe bei Moosach angestellt. Der einfallende Tau hatte bald alle Instrumententeile mit einem Wasserbeschlag überzogen. Trotzdem hielt das Isolationsvermögen des Elektroskopes über $^1/_2$ Stunde lang aus, ging dann aber fast plötzlich verloren. Nach 2tägiger Natriumtrocknung an der Sonne ergab eine Isolationsprüfung nachstehende Werte:

Tabelle 2.

Datum	Stunde	Ausschlag (Mittel)	Volt
9. Juli 1902	5^{10} p. m.	9,4	205
11. „	10^{50} a. m.	7,0	183,5
14. „	10^{30} „	4,5	151,5

In 137 Stunden 20 Minuten gingen somit 53,5 Volt an Spannung verloren, also durchschnittlich 0,4 Volt per Stunde. Außer durch Feuchtigkeit kann auch noch auf andere Weise die Isolation des Bernsteinstopfens Schaden leiden. Es kommt nämlich bisweilen vor, daß sich der Stutzen, in welchen das Natrium eingeführt wird, an seiner Innenwand mit einer Schicht Aetznatron überzieht, die sich mit Vorliebe an der Mündung festsetzt und sich so einer Reinigung entzieht. Von dieser weißen bröseligen Masse fallen dann häufig kleine Teilchen ins Elektroskop und sammeln sich dort an der untersten Stelle, also am Bernsteinstopfen an. Auch Staub, der von oben her eindringt, häuft sich hier unten an. Dadurch geht dann die Isolierfähigkeit mehr und mehr verloren. In solchen Fällen hilft nichts anderes, als das Elektroskop auseinander zu nehmen und gründlich zu reinigen. Freilich wird damit eine neue Eichung notwendig. Bei dem von mir stets verwendeten Instrument mußte eine solche Reinigung, trotz sorgfältigster Behandlung, einmal im Laufe von $1^1/_2$ Jahren vorgenommen werden. Dieser Uebelstand läßt sich durch eine andere Konstruktion des zur Aufnahme des Natrium dienenden Stutzens leicht verhüten. (s. S. 30).

c) Schutzdach und Schutznetz.

Um den Spannungskörper den direkten Einwirkungen der elektrischen Kräfte zu entziehen und gegen Niederschläge, helles Licht und zu starke Luftbewegung zu schützen, haben Elster und Geitel[1]) denselben durch ein Dach aus geschwärztem Messingblech umgeben. Dieses Schutzdach hat nun wesentliche Nachteile, weil durch die Einengung des Zerstreuungsraumes die Beziehung zwischen neutralisierter Elektrizitätsmenge und der zugehörigen Zeit verwickelter wird.[2]) Besonders nachteilig ist das oben geschlossene Dach bei Messungen im Freiballon, denn es werden sich hiedurch beim Fallen und Steigen verschiedene Werte in gleichen Luftschichten ergeben.

Aus diesen Gründen habe ich an Stelle des Schutzdaches schon i. J. 1901 gelegentlich ein gleichdimensioniertes Netz von 1 cm Maschenweite aus stark oxydiertem Zinkdraht verwendet. Der elektrostatische Schutz desselben erwies sich als völlig befriedigend. Simultanbeobachtungen mit Netz und Schutzdach geben aber so unregelmäßig von einander abweichende Werte, daß sich keine Beziehungszahl zwischen beiden festsetzen läßt. Diese Beobachtung wird durch die Arbeit von A. Gockel[3]) bestätigt.

d) Erdleitung.

Bei allen Messungen im Freien und im Laboratorium wurde das Elektroskopgehäuse und Schutzdach zur Erde abgeleitet. Im Freien geschah dies dadurch, daß ein Kupferdraht vom Gehäuse und Schutzdach zu einem ca. 10 cm tief in der Erde steckenden Metallspieß führte. Ein Einfluß der Erdung auf die Elektrizitätszerstreuung konnte nicht festgestellt werden.

e) Zambonische Säule.

Ein wesentlicher Bestandteil des vollständigen Zerstreuungsapparates ist endlich noch die Zambonische Säule zum Laden des Spannungskörpers. Ich habe im Laufe meiner Messungen alle Tücken dieses sehr unvollkommenen Instrumentes genugsam kennen gelernt. Durch eindringende Feuchtigkeit verliert die Zambonisäule rasch ihr Isolationsvermögen und damit ihre Spannung. Derartigen mißlichen Zufällen ist man bei Messungen im Freien sehr häufig ausgesetzt. Oftmals mußte ich bei feuchtem Wetter die

---

[1]) J. Elster u. H. Geitel: Terrestrial Magnet. and Atmosph. Electr. 4, 222, 1899.

[2]) J. Elster u. H. Geitel: Denkschrift der Kommission für luftelektrische Forschungen, München 1903, 70.

[3]) A. Gockel: Veröffentl. d. Univ. Freiburg (Schweiz) Neue Folge 4, 7, 1902.

Beobachtungen unterbrechen, weil die Ladesäule versagte. Aber auch bei trockenem Wetter hielten die von mir verwendeten Säulen ihre Spannung nie längere Zeit konstant, so daß bald ein größeres, bald ein kleineres Stück derselben abgetastet werden mußte, um dem Elektroskop den gewünschten Ausschlag zu erteilen. Ein derartiges Suchen ist aber namentlich beim Laden des Aspirationsapparates und insbesondere im engen Raum einer Ballongondel unbequem und zeitraubend, wovon ich mich bei einer Freifahrt am 6. Dezember 1902 überzeugen konnte. Ich suchte daher die Zamboniſäule so abzuändern, daß die erwähnten Mängel in Wegfall kamen. Die Neukonstruktion hatte also folgenden Anforderungen zu genügen: 1) Konstanthaltung der Spannung, 2) einfache Abtastung verschiedener Spannungshöhen und bei Anbringung am Aspirationsapparat, 3) rasche und bequeme Ladung des Elektroskopes. Nach diesen Gesichtspunkten ist die in Fig. 4, Taf. 2 abgebildete Zamboniſäule konstruiert. 850 Gold-Silberpapier-Blättchen sind an einem Hartgummistab S aufgereiht und durch 2 an seinen Enden aufgeschraubte Metallflantschen F_1 F_2 fest zusammengepreßt. Die so verfertigte Zamboniſäule ist mittels der beiden hochpolierten Ebonitscheiben E_1 E_2 innerhalb eines Aluminiumrohres A zentrisch gelagert. Die Enden der Röhre verschließen zwei Deckel D_1 D_2 aus gleichem Metall, durch die nur die Fortsätze der Metallflantschen ohne anzuliegen hindurchtreten können. Zwei Aluminiumhülsen H, welche auf die Fortsätze der Deckel D_1 D_2 aufgesteckt werden können, gestatten die Schutzröhre A völlig luftdicht abzuschließen. Nur während der kurzen Zeit, die zum Laden eines Elektroskopes notwendig ist, werden die Verschlüsse H entfernt. Es hat sich gezeigt, daß bei dieser Behandlung der Säule die Isolation vorzüglich erhalten bleibt und eine Natriumtrocknung, wie ich sie bei dem zuerst ausgeführten Instrument angebracht hatte, hier überhaupt überflüssig ist.

Zum Abgreifen verschiedener Spannungen hat sich unter mehreren probeweise ausgeführten Konstruktionen nachstehend beschriebene Vorrichtung am besten bewährt. Längs einer Mantellinie der Aluminiumröhre A sind federnde Druckknöpfe k_1 k_2 ꝛc. angebracht, die in der Rohrwand und in dem schmalen Bügel B geführt werden. Im Ruhezustand pressen die kleinen Federn f_1 f_2 ꝛc. die Scheibchen s_1 s_2 ꝛc. der Druckknöpfe gegen die Rohrwand, schließen so die Röhre dicht ab und halten die Stifte i_1 i_2 ꝛc. außer Berührung mit der Zamboniſäule. Drückt man einen Knopf nieder, so wird die Säule an der betreffenden Stelle geerdet und es bleibt nur mehr die Spannung des Säulenstückes zwischen Druckknopf und Ende. Bei den durch den Instituts-mechaniker A. Hörtensteiner bestens ausgeführten Säulen wurden

4 Druckknöpfe in der aus der Fig. 4 ersichtlichen Weise angebracht, die sich für die gewöhnlich vorkommenden Fälle als vollkommen ausreichend erwiesen. Es lassen sich somit $^1/_6$, $^2/_6$, $^3/_6$, $^4/_6$, $^5/_6$ und die ganze 330 Volt betragende Spannung der Säule abtasten. Durch geschicktes Niederdrücken der Knöpfe kann aber, infolge der Trägheit der Aluminiumblättchen ein Elektroskop auch zu allen Zwischen-Spannungen geladen werden, so daß mir eine Vermehrung der Druckknöpfe, der ja nichts im Wege stände, nicht notwendig erscheint.

2) Der Ebert'sche Aspirationsapparat.

Zu einer Reihe luftelektrischer Messungen verwendete ich auch den erst im 2. Jahre meiner Beobachtungen fertig gestellten Ebert'schen Aspirationsapparat.[1]) Derselbe besteht aus zwei konaxial ineinander geschobenen Zylindern, die einen Luftkondensator bilden. Der äußere Zylinder, ein Messingrohr von 400 mm Länge u. 30 mm lichter Weite ist mittels eines Ansatzstutzens horizontal auf das Gehäuse eines Elster-Geitel'schen Aluminiumblatt-Elektroskopes (s. S. 22) aufgesetzt und geerdet. An einem Ende des Rohres ist ein kräftiger Aßmann'scher Uhrwerkaspirator angeschlossen, das andere ist offen. Der innere, etwas kürzere 5 mm dicke Zylinder, der als Spannungskörper dient, sitzt auf dem Träger der Elektroskopblättchen, nimmt also an dessen Isolation teil. Die ihm erteilte Spannung kann am Elektroskope abgelesen werden. Zwischen beiden Zylindern besteht sodann ein starkes elektrisches Feld (s. Taf. 2 Fig. 4 rechts.) Saugt nun der Aspirator einen Luftstrom durch die äußere Röhre, so werden alle Ionen der einen Art an diese herangetrieben, alle Ionen der anderen Art nach dem geladenen Spannungskörper. Dort neutralisieren sie einen Teil der Ladung desselben und bewirken dadurch eine am Elektroskope ablesbare Spannungsabnahme.

Ist nun V der Spannungsverlust in der gewählten Zeiteinheit (15 Min.) C die Kapazität des Zylinderkondensators samt Elektroskop in cm, M die Fördermenge des Aspirators in 15 Min. in m^3, so berechnet sich daraus die Elektrizitätsmenge in e. st. E. pro m^3 zu:

$$E = \frac{C}{300\ M}\ V\ [\text{e. st. E.}]$$

Von der beobachteten Spannungsabnahme ist vorher der Ladungsverlust bei stillstehendem Aspirator abzuziehen. Dieses Korrektionsglied ist gewöhnlich so klein, daß es als außerhalb der Genauigkeitsgrenze der Meßmethode liegend (bei allen meinen Messungen) vernachlässigt werden kann.

---

[1]) H. Ebert: Physikal. Zeitschr. 2, 662, 1901 u. Illustr. aëronaut. Mitteilungen: 6, 178, 1902 u. 7, 10, 1903.

Eine eingehende Beschreibung des Apparates und der Methoden zur Bestimmung seiner Konstanten ist in den erwähnten Abhandlungen zu finden (Anm. S. 26). Ich habe den Aspirationsapparat ohne die geringste Abänderung benützt und er hat sich in dieser ursprünglichen Form seither durchaus bewährt. Nur das für die Ballonfahrten gebrauchte Instrument erhielt eine kleine Abänderung,[1]) um ein bequemeres Laden zu ermöglichen. Zum Laden des Aspirationsapparates wird die Seite 25 beschriebene Säule in dessen Holzkasten neben dem Elektroskop fest eingebaut. Sie erhält dann in der Mitte einen Zapfen Z und die Enden ihrer beiden Metallflantschen werden abgeschrägt. Auch das Elektroskop erfährt eine kleine Umänderung. Am Fuße des Trägers der Aluminiumblättchen wird eine kleine Blattfeder G angebracht. Gegen diese läßt sich der federnde Metallstift L schieben. Der Stift muß gegen das Elektroskopgehäuse isoliert sein und dieses luftdicht abschließen. Ersteres wird durch die beiden Bernsteinplatten p_1 p_2 erreicht, mit denen er innerhalb des Stutzens U gelagert ist; letzteres durch den im Röhrchen R geführten kleinen Kolben o, der in der Ruhelage durch die Feder e gegen das Gummiplättchen g gedrückt wird. Das Heranführen des Ladestiftes bis zur Berührung mit der Feder P geschieht mittels der Zambonisäule, deren eines Ende man gegen den Stift hindrückt. In dem Augenblick, in dem der Ladestift die Blattfeder P berührt, sind die Aluminiumblättchen des Elektroskopes mit dem einen Pol der Ladesäule leitend verbunden und nehmen diejenige Spannung an, die man durch Niederdrücken eines Knopfes gewählt hat. Durch Zurückdrehen der Säule kommt der federnde Stift wieder außer Kontakt mit der Blattfeder P und das Elektroskop bleibt geladen.

3) Transportables Quadrant-Elektrometer.

Den zu luftelektrischen Messungen verwendeten Blattelektroskopen (s. S. 22) haften eine Reihe von Mängeln an. So ist, fürs erste, der Meßbereich eines Blattelektroskopes ein engbegrenzter; bei den gebräuchlichen Instrumenten von circa 30 bis 250 Volt. Als „idiostatisches" Instrument[2]) ist sein Ausschlag nahezu proportional dem Quadrat der Spannung. Bei kleinen Spannungen (unter 30 bis 50 Volt) ist demgemäß die Divergenz

---

[1]) Diese Abänderung hat sich, wie mir Herr Professor Dr. C. Heinke mitteilte, bei der Hochfahrt mit Sauerstoffatmung am 21. Febr. 1903 gut bewährt.

[2]) J. C. Maxwell: „Die Elektrizität in elementarer Behandlung", deutsch von L. Grätz, Braunschweig 1883, S. 13.

der Blättchen unmerklich. Nun sind aber bei luftelektrischen Messungen gerade kleine Spannungen oft von Wichtigkeit; so z. B. zur Bestimmung der spezifischen Ionengeschwindigkeit mittels des Ebert'schen Aspirationsverfahrens nach H. Gerdien[1]) eine Spannung zwischen 5 und 25 Volt.

Hiezu kommt noch ein weiterer Nachteil. Die Blattelektroskope zeigen nicht, wie die „heterostatischen" Elektrometer von selbst neben der Größe auch das Vorzeichen ihrer Ladung an. Letzteres muß, wenn unbekannt, wie bei Potentialmessungen erst eigens bestimmt werden. Ich habe gefunden, daß dies bei Potentialmessungen im Freiballon sehr unbequem werden kann. Schließlich sei noch erwähnt, daß die äußerst feinen Aluminiumblättchen sehr leicht Schaden nehmen und dann durch frische ersetzt werden müssen, was stets eine Neueichung nötig macht.

Aus diesen Erwägungen heraus habe ich mich bemüht, nach dem Prinzip des bewährten Thomson'schen Quadrantelektrometers ein Instrument für luftelektrische Zwecke zu konstruieren, das vorzüglich isoliert, leicht transportabel und einfach zu handhaben ist. Wie bekannt, fehlen leider dem Quadrantelektrometer diese Eigenschaften, weshalb es zu luftelektrischen Messungen weniger geeignet ist. Nach einer Reihe von Versuchen ist es mir, wie ich glaube, gelungen, ein derartiges Instrument herzustellen, von dem in Taf. 3 Fig. 5 die genaue Konstruktionszeichnung und in Taf. 4, Fig. 6 eine photographische Aufnahme wiedergegeben ist.

Beschreibung des Instrumentes.

In Fig. 5 Taf. 3 (2 Vertikalschnitte) stellen Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 die 4 Quadranten dar, die man sich als Ausschnitte aus einer flachen zylindrischen Dose durch zwei auf einander senkrecht stehende diametrale Schnitte denken kann. Das Quadrantenpaar Q_2 Q_4 hängt durch einen kleinen Steg (in der Mitte) fest miteinander zusammen und ist durch die beiden Bernsteinstopfen B_1 B_2 am Gehäuse G befestigt, doch von diesem elektrisch isoliert. An Q_2 befindet sich ein Ansatz a, in welchen ein Ladestift L oder ein Zerstreuungskörper eingesetzt werden kann. Die Quadranten Q_1 Q_3 sind direkt am Metallgehäuse G befestigt und liegen mit diesem stets an Erde. Das Gehäuse G ist ein Messingrohr, dessen Boden und Deckel zwei fest angepreßte Glasplatten P_1 P_2 bilden.

Innerhalb der 4 Quadranten, in ihrer Mittelebene, schwingt die 8-förmige Aluminiumnadel A von 0,05 mm Dicke. In den oberen Rand der Nadel ist eine feine Doppelteilung eingeritzt

[1]) H. Gerdien: Physikal. Zeitschrift 4, 663, 1903.

(60 Teile nach links und rechts) die mit dem kleinen Mikroskop M (mit Fadenkreuz) abgelesen wird. Die möglichst reibungsfreie Lagerung der Aluminiumnadel machte besondere Schwierigkeiten. Nach Ausprobierung verschiedener Zapfen- und Spitzenlagerungen, die alle keine sichere Einstellung auf den Nullpunkt ergaben, wurde die folgende Form als am geeignetsten angewendet. Die Nadel sitzt auf einer 0,7 mm dicken, kurzen Achse s aus Platiniridium, die in 2 nur 0,1 mm dicke Zapfen ausläuft. Mittels dieser Zapfen liegt sie auf 2 genau horizontal gestellten Stiften aus gleichem Materiale auf. Diese 2 pararellen Stifte stecken in einer kleinen Laterne l des aufgeschlitzten Rohres r, so daß die Nadel frei hindurchschwingen kann. Platiniridium wurde zur Lagerung gewählt, um an der Auffitzstelle der leichten Aluminiumnadel einen dauernd sicheren Kontakt zu haben. Das Röhrchen r ist in den Bernsteinstopfen B_3 eingeschraubt, also isoliert. Durch Drehen der Schraube S verschiebt sich innerhalb von r der ebenfalls aufgeschlitzte Stift g, der oben in eine kleine Gabel endigt. Diese Gabel faßt beiderseits die kleine Achse (nicht Zapfen) der Aluminiumnadel und führt sie aufwärts gegen die Anschlagbacken b_1 b_2, an welche sie festgedrückt und damit arretiert wird. Der Hub der Arretierung wird einerseits durch Auffitzen des Deckels von S am Rohr O, andererseits (bei Lösung der Arretierung) durch Mut und Zapfen z begrenzt. Die Arretiergabel g ist, aus einem später angeführten Grunde auf den Hartgummistab h aufgeschraubt, welch letzterer in dem Bernsteinstopfen B_4 drehbar gelagert ist. Damit ist also auch die Arretiervorrichtung vorzüglich isoliert. Die Dimensionen der Lagerung und Arretierung sind so bemessen, daß auch bei der größtmöglichen Schiefstellung der Nadel, durch einen Stoß, dieselbe durch die Arretiergabel g sicher erfaßt und in ihre richtige Lage zurückgebracht werden kann.

Es ist noch einiges über die Isolation zu sagen. Verschiedene Versuche haben gezeigt, daß die von Elster u. Geitel eingeführten Bernsteinisolatoren vorzüglich isolieren, sofern sie nur trocken gehalten werden, da überhaupt nur eine Oberflächenleitung zu befürchten ist. Um nun letztere möglichst zu unterdrücken, wurde die aus der Zeichnung ersichtliche Form der Bernsteinstopfen gewählt, die sich in der Tat sehr gut bewährte. Die Dimensionen der Bernsteinisolatoren wurden so gewählt, daß die Elektrizität bei jedem die gleiche Weglänge über die Bernsteinoberfläche zurücklegen muß, ehe sie auf Metall gelangt. Aus diesem Grunde wurde an die Arretiergabel ein längerer Hartgummistab angesetzt, der wenn hoch poliert und schellackiert, gleichfalls vorzüglich isoliert. Zur Trockenhaltung der Isolatoren dient Na, das auf einer Nadel in

dem Glasrohr R steckend (Fig. 5 links) in den Ansatzstutzen U eingeschoben werden kann. (An Stelle des dort gezeichneten Knierohres K). Da das Trockenrohr R ganz herausgenommen und gereinigt werden kann, ist ein Ansetzen von Aetznatron im Innern des Instrumentes ausgeschlossen (s. S. 23). Das ganze Instrument sitzt auf einem Aluminiumteller (Fig. 6, Taf. 4), das auf einem stabilen photographischen Stativ steht und durch Stellschrauben (mittels Libelle) genau horizontal eingestellt werden kann. Auf den Aluminiumteller läßt sich (bei Zerstreuungsmessungen) ein Drahtkäfig stellen, der das ganze Elektrometer umschließt. Eine von der Klemmschraube k wegführende Erdleitung läßt alle äußeren Teile des Instrumentes an Erde legen.

Gebrauch des Instrumentes.

Nach Aufstellung und Horizontaleinstellung des Instrumentes wird die Arretierung vorsichtig gelöst. Beim Laden des Quadrantenpaares Q_2 Q_4 dreht sich die Nadel um ihre Zapfen und rollt dabei gleichzeitig seitwärts. Diese Seitenverschiebung ist aber infolge der dünnen Zapfen nur sehr gering. Sie beträgt bei der Maximaldrehung von 45° nur 0,039 mm. Das Elektrometer kann, wie jedes Quadrantelektrometer in verschiedenen Schaltungen benützt werden. Für luftelektrische Messungen reichen 2 Schaltungen vollständig aus, nämlich 1) Doppelschaltung zur Messung hoher Potentiale und 2) Quadrantschaltung zur Bestimmung kleiner Potentiale.

1) In der Doppelschaltung[1]) sind Nadel und ein Quadrantenpaar (Q_2 Q_4) leitend mit einander verbunden. Dies wird bei vorliegendem Instrument durch den geschweiften Bügel H erreicht, der in dem Lagerbock r der Nadel drehbar gelagert ist und durch eine kleine Feder an das Quadrantenpaar Q_2 Q_4 angepreßt wird. (Nach Herausnahme des in der Zeichnung dargestellten Knierohres r). Bei dieser Schaltung sind die Ausschläge a proportional dem Quadrat der Spannungen V. Am besten wird das Instrument geeicht und die zusammengehörigen Werte a u. V in einer Kurve aufgetragen. In dieser Schaltung lassen sich mit dem beschriebenen Elektrometer Spannungen von 40 Volt bis 800 Volt messen.

2) Durch eine einfache Vorrichtung kann das Instrument in Quadrantschaltung[2]) benützt werden. Die Nadel muß hiebei von den Quadranten isoliert und auf ein hohes Hilfspotential gebracht werden. Ersteres geschieht durch Einschieben des Knierohres K

---

[1]) F. Kohlrausch: Leitfaden der praktisch. Physik: 8. Aufl. S. 402.
[2]) F. Kohlrausch: l. c. S. 402.

in den Stutzen U des Gehäuses (wie Fig. 5 Taf. 3 gezeichnet). Durch den im Bernsteinstopfen B5 gelagerten Stift s wird der Bügel H von den Quadranten abgedreht. Damit ist die Nadel für sich isoliert und wird nun durch Einschrauben einer eingebauten Zambonisäule in den Aluminiumteller unter i auf ein bestimmtes Hilfspotential gebracht. Die Zambonisäule trägt hiezu einen federnden Steckkontakt, der genau in das aufgeschlitzte Rohr i eingepaßt ist. Der freie, gegenüberliegende Pol wird jeweils geerdet. Bei dieser Schaltung sind die Ausschläge der erteilten Spannungen (der Quadranten Q_2 Q_4) direkt proportional. Die Eichkurve ist in diesem Falle eine durch den Ursprung gehende Gerade, die, je nach der Größe des Hilfspotentiales, mehr oder minder stark ansteigt. Die Höhe des Hilfspotentiales (E. M. K. der Zambonisäule) kann jederzeit am Elektrometer selbst (in Doppelschaltung) nachgeprüft werden. In dieser Schaltung lassen sich Spannungen von 1 Volt bis 200 Volt messen.

„Das Instrument wurde von dem Institutsmechaniker A. Hörtensteiner ausgeführt.

Hier sei noch eine weitere Neuerung angeführt, die ich an luftelektrischen Apparaten anbrachte, um sie gegen die Einwirkung des ultravioletten Lichtes zu schützen. Ich kam dazu auf grund nachstehender Untersuchungen.

Beobachtungen über den Einfluß ultravioletter Strahlen auf die Elektrizitätszerstreuung.

W. Hallwachs[1]) machte die Wahrnehmung, daß — elektrisierte Metallkörper von blanker Oberfläche durch Bestrahlung mit ultravioletttem Lichte rasch ihre Ladung verlieren. („Hallwachseffekt") Durch genaue Untersuchung dieser Erscheinung kam W. Hallwachs[2]) zu der Annahme, daß - - elektrische Teilchen durch die Belichtung den geladenen Körper verlassen und den elektrostatischen Kräften des Feldes folgen. Es ist nun das Bedenken nicht von der Hand zu weisen, daß auch am Spannungskörper des Zerstreuungsapparates (mit Schutznetz) unter Einwirkung des ultravioletten Sonnenlichtes ein Hallwachseffekt auftritt, der, je nach der Intensität der ultravioletten Bestrahlung, mehr oder minder stark ausfällt und so ganz unkontrollierbare Störungen bewirkt. Dieser Einfluß würde besonders bei den so wichtigen Beobachtungen im Ballon und auf Bergstationen hervortreten, da ja in höheren Luftschichten die ultraviolette Sonnenstrahlung stärker ist als am Erdboden.

---

[1]) W. Hallwachs: Wiedem. Ann. 33, 309, 1888.
[2]) Derselbe: ebenda S. 311.

Ich habe nun zunächst untersucht, ob überhaupt ein Hallwachseffekt am geschwärzten Spannungskörper auftritt. Es hat sich dabei gezeigt, daß zwar durch die Schwärzung die Einwirkung der ultravioletten Strahlung wesentlich vermindert wird, jedoch bei genügender Intensität der Bestrahlung nicht aufgehoben werden kann. Hierauf wurde geprüft, ob die ultraviolette Sonnenstrahlung am Erdboden und in größerer Erhebung über dem Boden (im Gebirge) imstande ist, einen Hallwachseffekt am Spannungskörper hervorzubringen. Da nun das letztere, wie die Versuche zeigten, in der Tat zu befürchten ist, so wurde nach einer Bekleidung des Spannungskörpers gesucht, die selbst bei starker Konzentration der ultravioletten Strahlen einen Hallwachseffekt möglichst verhindert.

1) Hallwachseffekt am geschwärzten Spannungskörper.

Bei den Versuchen wurde ein Elster-Geitel'scher Zerstreuungsapparat verwendet und zwar ohne Schutzdach, da ja im Innern eines Gebäudes keine Einwirkung des elektrischen Erdfeldes zu befürchten ist. Zur Bestrahlung des Spannungskörpers mit ultravioletem Licht diente:

a) eine Bogenlampe von 4 Amp. maximaler Stromstärke,
b) eine solche von 30 Amp. maximaler Stromstärke.

a) Bei Verwendung von Bogenlampen zu diesen Versuchen sind eine Reihe von Vorsichtsmaßregeln wohl zu beachten. Bekanntlich ist eine Bogenlampe nicht nur die Quelle ultravioletter Strahlen, sondern sie erzeugt auch Flammengasionen und besitzt an den Kohlenenden eine hohe Spannungsdifferenz. Alle diese Eigenschaften befähigen sie, elektrische Wirkungen an einem geladenen Metallkörper hervorzubringen. Darum lassen sich aus Beobachtungen, bei denen eine Bogenlampe einfach neben den Zerstreuungsapparat gestellt wird, durchaus keine Schlüsse über die Wirkung des ultravioletten Lichtes allein ziehen. Um diese für sich zu messen, muß der Zerstreuungsapparat in einem Raum aufgestellt werden, der vollkommen vor den beiden letztgenannten Einwirkungen der Bogenlampe geschützt ist.

Diesen Erwägungen zufolge wählte ich zum Versuche 2 Zimmer, die durch eine dicke Mauer von einander getrennt waren. An einer Stelle der Trennungsmauer befand sich in Brusthöhe über dem Fußboden eine rechteckige Oeffnung von 66 cm Höhe und 57 cm Breite (Fig. 7 Taf. 5), die durch einen Holzladen L verschlossen werden konnte. Durch die Mitte dieses Verschlusses war ein kreisrundes Loch von 6 cm Durchmesser gebohrt, über welches ein feinmaschiges Messingdrahtnetz N

gespannt wurde. Zentrisch zu der Kreisöffnung brachte man eine Linsenfassung l an, die zur Aufnahme einer kristallhellen Quarzlinse Q von 5 cm Durchmesser und 25 cm Brennweite diente. Nur diese Linse freilassend überspannte ein Staniolbeleg S den ganzen Holzladen und reichte noch handbreit über dessen Einsatzfugen hinaus. Der Staniolüberzug stand mit dem erwähnten Messingnetz N in leitender Verbindung. Beide zusammen konnten zur Erde abgeleitet werden. Durch diese Versuchsanordnung war der Raum I (Fig. 7 Taf. 5) vollkommen elektrostatisch geschützt gegen den Raum II und luftdicht gegen diesen abgeschlossen.

Die verwendete Quarzlinse hatte eine große Farbenzerstreuung. Infolgedessen erfuhren die Wärmestrahlen an einer ganz anderen Stelle ihre stärkste Konzentration als die ultravioletten Strahlen. Aber gerade diese Eigenschaft war für unseren Versuch sehr brauchbar. Der Spannungskörper des Elster-Geitel'schen Zerstreuungsapparates wurde an die Stelle gebracht, wo sich das durch die Quarzlinse entworfene Bild des Flammenbogens auf einem Baryumplatincyanürschirm am hellsten abzeichnete. Damit war erreicht, daß wohl die ultravioletten Strahlen an der Oberfläche des Spannungskörpers ihre stärkste Konzentration erfuhren, nicht aber die Wärmestrahlen. Die Temperatur des geladenen Körpers konnte so nicht wesentlich erhöht und seine Entladung durch aufsteigende Luftströme nicht wahrnehmbar beeinflußt werden. Um endlich alles übrige Licht vom Zerstreuungsapparate abzuhalten, verdunkelte man den Raum II vollständig. Nur während des Augenblickes der Ablesung des Elektroskopes brannte eine Vakuumglühlampe in 50 cm Entfernung vom Apparate. Die mehrfach wiederholten Versuche ergaben, daß Mengen ultravioletten Lichtes wie sie eine 4 Amp. Bogenlampe zu liefern vermag, nicht hinreichen, um an dem geschwärzten Metallzylinder irgend einen merklichen Hallwachseffekt hervorzubringen.

b) Ganz anders dagegen wird das Ergebnis, wenn man mit bedeutend größeren Lichtmengen (30 Amp. Bogenlampe) den Versuch wiederholt. Bei dieser Messung wurde gleichzeitig im Raume I durch einen zweiten Beobachter die Elektrizitätszerstreuung verfolgt. Der Elster-Geitel'sche Zerstreuungsapparat war hier in 1 m Entfernung von der Bogenlampe aufgestellt, so daß er sowohl von den ultravioletten Strahlen, als auch von den Flammengasionen selbst, entladen werden konnte.

Zunächst wurde wieder, wie beim vorhergehenden Versuche, in beiden Räumen eine Zerstreuungsbeobachtung vor der Bestrahlung angestellt. Da es sich hier nur um vergleichende

Messungen handelt, sind lediglich die Spannungsverluste für die stets zu Grunde gelegte Versuchszeit von 10 Minuten ausgerechnet. Die erste Zerstreuungsmessung ergab folgende Werte:

Tabelle 3.

Ladg.	Raum I		Raum II	
	Volt	Verlust in 10 Minut.	Volt	Verlust in 10 Min.
+	197 157	40	199 173	26
—	225 184	41	199 173	26

Nun wurde die Bogenlampe, die mit einer durchschnittlichen Stromstärke von 25 Ampère sehr gleichmäßig brannte, in Betrieb gesetzt. Das Versuchsergebnis ist in Tab. 4 niedergelegt. Im Raume I ergab sich eine Beschleunigung der Entladung für beide Vorzeichen (Wirkung der Flammengasionen), doch nicht in gleicher Weise, sondern bei — Ladung eine bedeutend größere als bei + (Mitwirkung der ultravioletten Strahlen.)

Tabelle 4.

Ladg.	Raum I		Raum II	
	Volt	Verlust in 10 Minut.	Volt	Verlust in 10 Minut.
+	217 135	82	199 172	27
—	208 12	196	199 61	138

Im Raume II ging nur die — Ladung und zwar über 5 mal schneller verloren, als beim 1. Versuch (Tab. 3) ohne Bestrahlung. Ist diese Wirkung den ultravioletten Strahlen zuzuschreiben, so mußte sie aufhören, wenn vor die Linse eine Glasplatte (von 2,3 mm Dicke) gestellt wurde, da Glas ultraviolettes Licht äußerst stark absorbiert.[1]) Geschah dies, so stellten sich die anfänglichen Werte in der Tat wieder ein, wie folgende Tab. 5 aufweist.

[1]) W. Hallwachs: Wiedemanns Annalen 33, 304, 1888.

Tabelle 5.

Ladg.	Raum I		Raum II	
	Volt	Verlust in 10 Minut.	Volt	Verlust in 10 Min.
+	220 120	100	208 182	26
−	208 40	168	200 176	24

Meines Wissens war man bisher der Ansicht, daß durch Schwärzung einer Metalloberfläche ein Hallwachseffekt an ihr so gut wie vollkommen vernichtet werden könne. Vorstehende Versuche, die mehrmals mit dem ganz gleichen Erfolge wiederholt wurden, weisen aber darauf hin, daß ein Hallwachseffekt auch an geschwärzten Metalloberflächen auftritt, wenn nur die Intensität der ultravioletten Bestrahlung genügend groß ist.

Dagegen wäre noch der Fall denkbar, daß die auf dem Wege der ultravioletten Strahlen erzeugten Jonen[1]) eine merkliche Steigerung der Elektrizitätszerstreuung (für beide Vorzeichen) herbeiführen könnten. Um darüber Gewißheit zu erlangen, rückte ich den Spannungskörper soweit aus dem Wege der Strahlen, daß er gerade an die Grenze des streifenden Lichtes zu stehen kam. (Fig. 8 Taf. 5). Im übrigen war die Versuchsanordnung dieselbe, wie vorher.

Eine Zerstreuungsbeobachtung bei nicht brennender Bogenlampe ergab im dunklen Zimmer:

Tabelle 6.

Ladg.	Volt	Verlust in 10 Minut.	Ladg.	Volt	Verlust in 10 Minut.
+	201 183	18	−	206 182	24

Bei Durchstrahlung des Gasraumes G_1 G_2 (Fig. 8 Taf. 5) in der Nähe des Spannungskörpers fand man:

---

[1]) P. Lenard: Drudes Annalen 3, 298, 1900.

Tabelle 7.

Ladg.	Volt	Verlust in 10 Minut.	Bemerkung
+	199 178	21	Keine Glasplatte vor die Quarzlinse gestellt.
—	199 181	18	do.
—	199 181	18	Glasplatte vorgestellt.

Daß bei dieser Anordnung kein Hallwachseffekt auftritt, zeigt die Uebereinstimmung der Elektrizitätsverluste bei Anwendung und Weglassung der Glasscheibe. Ein Vergleich der hier erhaltenen Werte mit denen der Tab. 6 zeigt, daß auch kein Einfluß der durch die ultravioletten Strahlen erzeugten Jonen nachweisbar ist. Dies war auch dann nicht der Fall, wenn die durchstrahlte Luft mit Hilfe eines Blasbalges gegen den Spannungskörper hin getrieben wurde. (s. Tab. 8). Wohl ergibt sich bei diesem Versuche eine Beschleunigung der Zerstreuung, die aber durch die vorbeistreichende große Luftmenge verursacht werden dürfte, vielleicht auch durch die herangetriebenen Staubteilchen.

Tabelle 8.

Ladg.	Volt	Verlust in 10 Min.	Bemerkung
+	199 162	37	Ohne Glasplatte. Mit Gebläse.
—	199 164	35	do.
+	199 165	34	Mit Glasplatte. Mit Gebläse.
—	199 168	31	do.

Dagegen zeigen vorstehende Messungsergebnisse mit und ohne Glasplatte, daß trotz der starken Konzentration des ultravioletten Lichtes in nächster Nähe des Spannungskörpers, im vorliegenden Falle, nicht genügend Gasionen erzeugt werden, um eine merkliche Erhöhung der Elektrizitätszerstreuung herbeizuführen.

2) Hallwachseffekt durch ultraviolette Sonnenstrahlung.

a) Am Erdboden.

Die Beobachtungen mit Sonnenlicht wurden an völlig klaren, windstillen Tagen, die nach Regenwetter folgten, im Sommer 1902 u. 1903 angestellt, so daß die größtmöglichste Durchlässigkeit der Luft für ultraviolettes Licht vorausgesetzt werden konnte.

Die Versuchsanordnung war folgende: Im Fenster eines völlig verdunkelten Zimmers wurde eine kreisrunde Oeffnung freigemacht. An dieser brachte man mit der Rückseite den Balg eines photographischen Apparates an, der vorn die erwähnte Quarzlinse eingesetzt bekam. Der Balg ließ sich so bewegen, daß die Linsenachse stets der Sonne nachgedreht werden konnte. Die Sonnenstrahlen nahmen somit nur durch die Linse hindurch ihren Eintritt ins Zimmer. Dort bekam der Zerstreuungsapparat in gleicher Weise, wie bei Versuch S. 33 seine Aufstellung.

Nach diesen Vorbereitungen bedeckte man die Linse und stellte in dem nun völlig finsteren Raume eine Zerstreuungsbeobachtung an, die nachstehende Werte ergab:

Tabelle 9.

Ladg.	Volt	Verlust in 10 Min.	Ladg.	Volt	Verlust in 10 Min.
+	199 173	26	−	199 174	25

Gab man nun den Sonnenstrahlen den Weg nach dem Spannungskörper frei und beobachtete einmal mit und dann ohne vorgestellte Glasplatte, wobei die Quarzlinse und der Zerstreuungsapparat stets so den Strahlen nachgerückt wurde, daß immer die gleiche Stelle des Zerstreuungskörpers beleuchtet blieb, so fand man nachstehende Werte:

Tabelle 10.

Ladg.	Volt	Verlust in 10 M.	Bemerkung
+	199 173	26	Mit Glasplatte.
−	199 172	27	do.
+	199 173	26	Ohne Glasplatte.
−	199 172	27	do.

Nach diesen Beobachtungen wurde abermals eine Zerstreuungsmessung bei völligem Ausschlusse der Strahlung angestellt, die zu den ursprünglichen Werten (Tab. 9) führte. Aus diesen Versuchen, deren Wiederholung stets das gleiche Ergebnis brachte, ist ersichtlich, daß, trotz der starken Konzentration der ultravioletten Strahlen, ein Hallwachseffekt durch Sonnenlicht am Erdboden nicht zu befürchten ist. Der Anwendung des Netzes steht also nach dieser Richtung hin nichts im Wege.

Es wurden auch Versuche mit einem Heliostaten angestellt, der mittels eines Stahlspiegels das Sonnenlicht in das verdunkelte Zimmer, ohne Zwischenschaltung der Quarzlinse, auf den Spannungskörper warf. Das Ergebnis war das gleiche. Nur könnte hier vielleicht der Einwand erhoben werden, daß die reflektierende Kraft des Spiegels für die ultravioletten Strahlen eine zu geringe gewesen sei.

b) Auf Bergen.

Die Versuche S. 37 ff. ergaben, daß am Erdboden keine Einwirkung des ultravioletten Lichtes auf den geschwärzten Spannungskörper zu befürchten ist. Nun ist aber bekannt, daß gerade die untersten Schichten der Atmosphäre die ultravioletten Strahlen am meisten absorbieren. Es wäre daher wohl denkbar, daß schon in Höhen über 1000 m die Intensität dieser Strahlen groß genug ist, um auch am geschwärzten Zerstreuungskörper einen Hallwachseffekt hervorzubringen. Um dies experimentell zu entscheiden, habe ich im Sommer 1902 Zerstreuungsmessungen auf Berggipfeln angestellt. Bei solchen Messungen ist klares, wolkenloses Wetter, dem am besten Regen vorausging, eine Grundbedingung. Leider war diese während der Beobachtungs-Monate August und September 1902 selten erfüllt. Mehrmals wurden zu dieser Zeit Berge des hinteren Kaisergebirges (Naunspitze 1632, Petersköpfl, Pyramidenspitze 1999 m) bei den besten Witterungsaussichten bestiegen, doch ohne Erfolg, da entweder Bewölkung oder gar Regen alle Messungen vereitelte. Nur am 16. August 1902 gelang es mir, den Gipfel der Naunspitze (1632 m) im hinteren Kaisergebirge bei völlig klarem Wetter zu erreichen. Die Zerstreuungsbeobachtungen wurden mit dem Elster-Geitel'schen Apparate mit Schutznetz und geschwärztem Spannungskörper vorgenommen. Zum Nachweise des Hallwachseffektes diente eine 30 cm lange, 22 cm breite und 3 mm dicke Glasplatte. Während des Transportes konnte dieselbe mittels eines Scharnieres aus einem schmalen Streifchen Buchbinderleinwand in der Mitte buchförmig zusammengeklappt werden. Während der Beobachtung wurde die Platte auseinandergeklappt und an einem Bergstock so befestigt, daß noch das ganze Schutznetz vor direkt auffallenden

Sonnenstrahlen geschützt war. Ein frischer Wind strich während der Messung günstigerweise zwischen Apparat und Glasplatte hindurch. Die Beobachtungen auf dem höchsten Punkt des ganz exponierten Gipfels wurden jeweils mit und unmittelbar darauf ohne Glasscheibe angestellt und dauerten je 5 Minuten. Die Ergebnisse sind in nachstehende Tab. 11 eingetragen. Zum Vergleich mit früheren Werten der Elektrizitätszerstreuungen sind auch die Koeffizienten a+ und a—, sowie q berechnet. Während der letzten Messung zog ein Cirrusschleier vor der Sonne auf.

Tabelle 11.

Zeit	Ladg.	Volt	Verlust in 5 Min.	a	q	Bemerkung
3^{05} p. m.	+	214,5	5	0,90	12,13	Ohne Glasplatte
3^{10} „		209,5				
3^{14} p. m.	—	209,5	52	10,91		do.
3^{19} „		157,5				
3^{21} p. m.	—	212	43	8,68		Mit Glasplatte
3^{26} „		169				
3^{28} p. m.	—	211	55	11,58		Ohne Glasplatte
3^{33} „		156				
3^{36} p. m.	+	214,5	5	0,90		Mit Glasplatte
3^{41} „		209,5				
3^{41} p. m.	+	209,5	4,5	0,83		Ohne Glasplatte
3^{46} „		205			12,78	
3^{49} p. m.	—	211	51	10,60		do.
3^{54} „		160				
3^{57} p. m.	—	211	48,5	10,00		Mit Glasplatte
4^{02} „		162,5				
4^{03} p. m.	—	211	48,5	10,00		Ohne Glasplatte
4^{08} „		162,5				

Ein Vergleich der mit und ohne Glasplatte erhaltenen Zerstreuungswerte bei — Ladung zeigt tatsächlich eine Einwirkung, die auf diejenige des ultravioletten Lichtes auf den geschwärzten Spannungskörper zurückgeführt werden kann; denn eine Beeinträchtigung der Luftbewegung durch die vorgestellte Platte kann nicht als Ursache der verminderten Elektrizitätszerstreuung gelten, da sie nur bei — Ladung auftritt und weil, wie erwähnt, ein

frischer Wind gerade zwischen Platte und Elektroskop hindurchstrich. Einen weiteren Beweis für die vorstehend ausgesprochene Ansicht liefert die Uebereinstimmung der zwei letzten Messungen, während welcher ein Cirrusschleier aufzog. Dieser absorbiert die ultravioletten Strahlen in ganz erheblicher Weise, wirkt also wie die vorgestellte Glasscheibe.

Leider gelang es mir, trotz wiederholter Versuche während meines Aufenthaltes im Gebirge nicht mehr, diese Beobachtungen auf einem anderen Berggipfel zu wiederholen. Es wäre daher sehr zu wünschen, daß auf Bergstationen, die mit dem Elster-Geitel'schen Apparate ausgerüstet sind, diese Versuche wiederholt würden.

3) Mittel zur Unterdrückung des Hallwachseffektes.

Bei der Erforschung der luftelektrischen Erscheinungen sind zweifellos Beobachtungen in beträchtlichen Höhen (Berg- und Ballonbeobachtungen) von der größten Bedeutung. Macht sich aber schon in so mäßigen Erhebungen, wie die oben genannten, eine Einwirkung des ultravioletten Lichtes auf den geschwärzten Spannungskörper bemerkbar, so ist dessen Verwendung in weit größeren Höhen bei direkter Bestrahlung in der Tat bedenklich. Aus diesem Grunde wird es notwendig, nach einem Mittel zu suchen, das eine Hallwachswirkung am Spannungskörper, auch bei starker Konzentration der ultravioletten Strahlen nach Möglichkeit verhindert. Ich habe daher systematisch eine große Reihe von Beobachtungen unter Anwendung der auf S. 32 ff. beschriebenen Versuchsanordnung angestellt. Zur Prüfung gelangten die verschiedensten Bekleidungen des Spannungskörpers, die in Form genau passender Manschetten auf denselben aufgeschoben werden konnten. Die Ladung des Systemes mit der Zamboniſäule konnte ohne Mühe durch die Umhüllung hindurch vorgenommen werden. Für jede einzelne Bekleidung wurden 3 Zerstreuungsmessungen angestellt. Eine ohne Bestrahlung, eine mit Bestrahlung durch ultraviolettes Licht und endlich eine mit Bestrahlung bei Ausschluß des ultravioletten Lichtes durch die Glasscheibe. Die ersteren Versuche ergaben für alle die verschiedenartigsten Hüllen des Spannungskörpers, daß die Oberfläche desselben keinen Einfluß auf die Elektrizitätszerstreuung ausübt.

Einer Angabe R. Börnsteins[1]) folgend wurden zuerst (8) schwarze Papiersorten in der angegebenen Weise auf Hallwachseffekt untersucht und zwar:

---

[1]) R. Börnstein: Physikal. Zeitschr. 3; 408; 1902.

1) Dünnes schwarzes Mattpapier,
2) Dickes „ „
3) Doppelt dickes „ „
4) Grobes schwarzes Schmirgelpapier,
5) Schwarzes Sammetpapier,
6) Schwarzes Glanzpapier,
7) Schwarzblaues „
8) „ Mattpapier.

Die Untersuchungen ergaben, daß durch die Bekleidung des Spannungskörpers mit schwarzem Papier zwar der Hallwachseffekt etwas vermindert, aber bei der verwendeten Intensität der Bestrahlung durchaus nicht aufgehoben werden konnte.

Da die dickeren schwarzen Umhüllungen bessere Resultate lieferten, als die dünneren, untersuchte ich in derselben Weise eine ganze Reihe verschiedener schwarzer Stoffe und zwar:

1) Schwarze dünne Seide,
2) Schwarzer Futterstoff,
3) „ sehr dicker Stoff,
4) „ Lodenstoff,
5) Schwarzes Tuch,
6) Schwarzer Kleiderstoff,
7) „ Sammt,
8) Schwarze Buchbinderleinwand.

Der Hallwachseffekt nahm bei den einzelnen Bekleidungen in der Reihenfolge ab, wie sie oben angeführt sind, konnte aber auch durch die schwarze glänzende Buchbinderleinwand nicht aufgehoben werden.

Nun haben H. Ebert u. E. Wiedemann[1]) nachgewiesen, daß die Wirkung des ultravioletten Lichtes auf — geladene Körper mit deren Absorptionsvermögen für diese Strahlengattung zunimmt. Demzufolge müssen sich für unsere Zwecke gerade weiße Hüllen besser eignen, als schwarze. Zur Untersuchung gelangten:

1) Gelblich weißes Pergamentpapier,
2) Weißlicher Karton,
3) Zeitungspapier,
4) Weißer Wollstoff,
5) Dünnes weißes Glanzpapier,
6) Feines weißes Seidenpapier,
7) Weiße grobe Leinwand,
8) Filtrierpapier (feine Seite),
9) Filtrierpapier (rauhe Seite).

---

1) H. Ebert u. E. Wiedemann: Wiedem. Annalen: 35, 214, 1888.

Die Versuche führten zu dem Ergebnis, daß in der Tat an weißen Umhüllungen die entladende Wirkung der ultravioletten Strahlen viel geringer ist, als an schwarzen. Allen Bekleidungen voran steht die aus weißem Filtrierpapier (gekörnte rauhe Seite). Ganz unterdrückt wurde aber der Hallwachseffekt durch keine der angeführten Hüllen.

Weiter wurden noch einige besonders dichte Umhüllungen geprüft, die aber trotzdem eine Ladung mit der Zamboniſäule erlaubten. Auch eine Bekleidung des Spannungskörpers mit neuem gelben Ballonstoff, der von der k. Luftschifferabteilung geliefert wurde, konnte untersucht werden. Wie bei allen früheren, trat auch bei diesen Bekleidungen der Hallwachseffekt auf und zwar mit einer entsprechend der folgenden Reihe abnehmenden Stärke:

1) Weiße Asbestplatte (2 mm dick),
2) Gelbes Leder (0,8 mm dick),
3) Gelber Ballonstoff,
4) Nußbaum-Fournier (0,6 mm dick),
5) Gipsmantel (2 mm dick).

Um ganz sicher zu gehen, wurde auch die Versuchsanordnung verändert. An Stelle des Zerstreuungskörpers kam, wie bei den Versuchen von W. Hallwachs[1]) eine Zinkplatte. Dieselbe wurde mit Seidenschnüren an 2 Elster-Geitel'schen Isolationskapseln so aufgehängt, daß sie senkrecht von den Strahlen getroffen wurde und in ihrer Mitte die stärkste Konzentration der ultravioletten Strahlen eintrat (s. S. 33). Durch einen dünnen Draht stand das Elektroskop mit der Zinkplatte in Verbindung. Das ganze System konnte leicht mittels der Zamboniſäule geladen werden und isolierte vorzüglich. Zur Bestrahlung wurde wieder die 30 Amp. Bogenlampe in der S. 32 ff. beschriebenen Weise verwendet. Die verschiedenen Bekleidungen (Papiere, Stoffe ꝛc.) wurden nun auf die Zinkplatte aufgeklebt und dann auf Hallwachseffekt in der bekannten Art untersucht. Die Versuche führten auch bei dieser Anordnung genau zu demselben Ergebnis, wie bei der direkten Bekleidung des geschwärzten Spannungskörpers. Ich habe daher bei allen weiteren Untersuchungen die letztere, einfachere Versuchsanordnung beibehalten. Die vorstehenden Ergebnisse haben gezeigt, daß keine der untersuchten Bekleidungen des Zerstreuungskörpers im stande ist, den Hallwachseffekt bei der verwendeten Strahlungsintensität in erheblicher Weise zu verringern.

---

[1]) W. Hallwachs: Wiedemanns Annalen 33, 302, 1888.

Befriedigende Ergebnisse lieferten die Versuche an Oelfarben. Ich möchte daher hierüber genauere, zahlenmäßige Angaben machen. Die Oelfarbenanstriche wurden auf die äußere Seite eines Stückes Schwarzblech aufgetragen, das die Form eines halben Zylindermantels hatte und genau dem Spannungskörper angepaßt war. Zwei schmale Gummibändchen preßten oben und unten diesen Halbzylinder fest an den Zerstreuungskörper an. Die Ladung des Elektroskopes konnte durch Berühren mit der Zambonisäule durch den Farbenanstrich hindurch geschehen. Bei einer Expositionszeit von 5 Minuten, wie sie bei den vorhergehenden Versuchen genügte, trat ein Hallwachseffekt überhaupt nicht mit Deutlichkeit hervor. Bei 30 Minuten Versuchszeit wichen gewöhnlich 2 direkt nacheinander angestellte Bestrahlungsmessungen so von einander ab, daß wiederum die Wirkung des ultravioletten Lichtes für sich nicht scharf genug zu erkennen war. Am geeignetsten erwies sich hier eine Beobachtungszeit von 15 Minuten, die ja auch gewöhnlich den Messungen im Freien zu grunde gelegt wurde. Für jede Farbe wurden wieder 3 Beobachtungen angestellt (s. S. 40). Da die Werte ohne Bestrahlung und mit Bestrahlung bei vorgestellter Glasscheibe stets völlig übereinstimmten, so sind in nachstehenden Tabellen die ersteren weggelassen.

Zur Untersuchung gelangten zuerst gewöhnliche Oelfarbenanstriche, wie sie im Malergewerbe Verwendung finden. Dabei ergab sich:

Tabelle 12.

Farbe	Ladg.	Ohne Glas		Mit Glas	
		Volt	Verlust in 15 Min.	Volt	Verlust in 15 Min.
Spannungskörper ohne Bekleidung	—	203 124,5	78,5 in 5 Min.	203 160,5	42,5
Grüne Oelfarbe	—	203 163,5	39,5	203 166,5	36,5
Braune Oelfarbe	—	203 160,5	42,5	203 163,5	39,5
Weiße Oelfarbe	—	203 134	69	203 159	44

Nun wurde eine Reihe von feinen Künstlerölfarben aus der Fabrik von Dr. Fr. Schönfeld in Düsseldorf untersucht. Zum Vergleiche hiemit wurde schließlich das nackte Schwarzblech, eine weiße Emailfarbe und schwarzer Mattlack bestrahlt. Die Versuche führten zu nachstehenden Zahlen:

Tabelle 13.

Farbe	Ladg.	Ohne Glas		Mit Glas	
		Volt	Verlust in 15 Min.	Volt	Verlust in 15 Min.
Spannungskörper ohne Bekleidung	—	203 124,5	78,5 in 5 Min.	203 143	60
„Dunkles Permanent Grün"	--	203 145,5	57,5	203 152,5	50,5
„Hellster grüner Zinnober"	—	203 157,5	45,5	203 162	41
„Graphit Schwarz"	--	203 160	42,5	203 165	38
„Roter Patent Zinnober"	—	203 157,5	45,5	203 163,5	39,5
Nacktes Schwarzblech	—	203 136,5	66,5 in 5 Min.	203 160	42,5
Weiße „Emailfarbe"	—	203 112	91	203 145	57,5
„Schwarzer Mattlack"	—	203 126,5	76,5 in 5 Min.	203 158	45

Bei Bestrahlung des nackten Spannungskörpers mit ultraviolettem Lichte war der Elektrizitätsverlust so groß, daß im Interesse der genauen Messung schon nach 5 Min. der Versuch beendet wurde. Die so erhaltenen Werte sind in den vorstehenden Tabellen eingetragen. Das gleiche gilt für Schwarzblech und Mattlack. Aus Tab. 13 ist ersichtlich, daß der Hallwachseffekt an einer Metallfläche durch einen Anstrich mit einer deckenden Oelfarbe nahezu völlig unterdrückt wird.

Um bei dieser Erscheinung den Einfluß der Farbe allein zu studieren, wurde auch eine Reihe von Wasserfarben in gleicher Weise dem Lichte der 30 Ampère Bogenlampe ausgesetzt. Die sehr dick angerührten Wasserfarben wurden in fünffachem Anstrich auf je einen Schwarzblechzylinder aufgetragen. Man fand:

Tabelle 14.

Farbe	Ladg.	Ohne Glas		Mit Glas	
		Volt	Verlust in 5 Min.	Volt	Verlust in 5 Min.
Spannungskörper ohne Bekleidung	—	203 140,5	62,5	203 193	10
„Preußisch Blau"	—	203 110	93	203 192,5	10,5
„Schwarze Tusche"	—	203 entladen in 3½ M.		203 193,5	9,5

Bei diesen Versuchen genügte eine Expositionszeit von 5 Minuten. Ebenso wie „Preußisch Blau" verhielten sich alle übrigen Wasserfarben.

Ein Vergleich der letzten Tab. 14 mit der Tab. 13 legt sofort den Gedanken nahe, daß nicht so sehr die Farbe selbst, als vielmehr deren Lösungsmittel im wesentlichen die starke Verminderung des Hallwachseffektes bewirkt. Ein Anstrich mit Leinölfirnis mußte hienach schon von bedeutender Wirkung sein. Der Versuch hat dies in der Tat bestätigt:

Tabelle 15.

Anstrich	Ladg.	Ohne Glas		Mit Glas	
		Volt	Verlust in 15 Min.	Volt	Verlust in 15 Min.
Spannungskörper ohne Bekleidung	—	203 137	66 in 5 Min.	203 143	60
„Leinölfirnis"	—	203 146	57	203 156	47

Auch bei den verschiedenen Farbenanstrichen zeigte es sich, daß hiedurch die Elektrizitätszerstreuung ohne Bestrahlung in keiner Weise beeinflußt wird.

Das Ergebnis aller dieser Versuche dürfte folgendes sein: Durch einen Anstrich des Spannungskörpers und des Schutznetzes mit einer Deckölfarbe wird der Hallwachseffekt an ihnen nahezu gänzlich verhindert; wir dürfen wohl sagen, praktisch vollständig verhindert, da eine derartige Konzentration der ultravioletten Strahlen, wie sie mit Hilfe der 30 Amp. Bogenlampe und der

Quarzlinse erhalten wird, wohl nirgends in der zugänglichen Atmosphäre anzutreffen ist. Als geeignetste Anstrichfarbe dürfte wohl das sehr haltbare und billige Graphitschwarz erscheinen, eine Oelfarbe, die im Malergewerbe zum Anstrich von Eisen vielfach Verwendung findet.

Hier sei noch erwähnt, daß ich auch nach der S. 42 beschriebenen Versuchsanordnung eine große Reihe von Gesteins- und Holzarten, von Pflanzenblättern 2c. untersucht habe und bei allen diesen Körpern einen mehr oder minder starken Hallwachseffekt beobachten konnte.

Aktinitätsmessungen.

Um einen Anhalt über die Intensität der verwendeten Strahlungsquellen zu erhalten, wurden dieselben mit Hilfe eines Aktinometers mit einander verglichen. Am besten eignet sich hiezu das von J. Elster und H. Geitel[1]) konstruierte transportable Aktinometer. Mittels der Quarzlinse wurden die ultravioletten Strahlen auf der vorher frisch amalganierten Zinkkugel konzentriert. In nachstehender Tab. 16 ist für die einzelnen Lichtquellen die Zeit in Sekunden angegeben, die zu einem Rückgang der Aktinometerladung von 203 Volt auf 103 Volt (also um 100 Volt) notwendig war. Die Messungen wurden mehrmals wiederholt und deren Ergebnisse zu den nachstehenden Mittelwerten zusammengefaßt:

Tabelle 16.

Lichtquelle	Belichtungszeit für 100 Volt Spangs.-Verlust
4 Amp. Bogenlampe	316 sec
30 Amp. Bogenlampe	22 sec
Durch Quarzlinse konzent. Sonnenlicht	93 sec
Sonnenlicht ohne Konzentrat. durch Quarzlinse	273 sec

Aus vorstehenden Meßwerten dürfte sich der Schluß ziehen lassen, daß die Intensität der durch die Quarzlinse konzentrierten ultravioletten Strahlen der 30 Ampère Bogenlampe über 10 mal

---

[1]) J. Elster u. H. Geitel: Wiener Akad. Ber. 110, IIa, 703, 1892. und A. Gockel: Veröffentl. d. Univ. Freiburg (Schweiz) 4, 47, 1902.

so groß ist, als die des Sonnenlichtes am Erdboden an den Versuchstagen war. Vermag nun die intensive Strahlung der 30 Ampère Lampe keinen merklichen Hallwachseffekt an dem mit Graphitschwarz bestrichenen Zerstreuungskörper mehr hervorzubringen, so darf angenommen werden, daß diesen auch die ultraviolette Sonnenstrahlung, selbst in den höchsten zugänglichen Höhen der Atmosphäre, nicht mehr zu stande bringen kann.

II. Messmethode.

1) Eichung des Elektroskopes.

Um sich von der Zuverlässigkeit der Angaben eines Aluminiumblattelektroskopes zu überzeugen, muß dasselbe von Zeit zu Zeit neu geeicht werden. Dies ist insbesondere vor und nach jeder Ballonfahrt zu luftelektrischen Zwecken unerläßlich. Sind mehrere Elektroskope öfters zu eichen, so ist eine feste Aufstellung aller hiezu nötiger Apparate am geeignetsten. Nach mehreren Vorversuchen hat sich nachstehend beschriebene Anordnung, die eine gleichzeitige Eichung einer ganzen Reihe von Elektroskopen gestattet, am zweckmäßigsten erwiesen.

Eine eigens zu Eichzwecken konstruirte Hochspannungsbatterie von 300 Volt Spannung ist so geschaltet, daß je 5 Zellen hintereinander liegen und fest miteinander verbunden sind. Es läßt sich daher die Spannung nur in Sprüngen von mindestens 10 Volt verändern, was für den vorliegenden Zweck völlig ausreicht. Die Batterie B (Fig. 9, Taf. 6), deren einer Pol geerdet wird, ist mit einem Zellenschalter Z verbunden, der gestattet, die Spannung sprungweise, aber ununterbrochen, von 0 bis 300 Volt zunehmen und wieder auf 0 abnehmen zu lassen. Auf diese einzelnen Spannungen wird ein zwischen 2 Elster-Geitel-Isolationskapseln J_1 J_2 ausgespannter Kupferdraht D gebracht, welcher mit den Blättchen der zu eichenden Elektroskope E in leitender Verbindung steht. Die Gehäuse der Elektroskope liegen an Erde. Jedem Ausschlage der Blättchen entspricht eine ganz bestimmte Spannung, die an dem Weston Voltmeter V abgelesen wird. Ein Pol desselben ist geerdet, der andere jeweils mit derselben Batterieklemme verbunden, wie das Elektroskop. Durch das Voltmeter fließt also dauernd ein Strom, der bei dem hohen Widerstande des Instrumentes (29212 ohm) allerdings nur sehr gering ist. Zwischen Akkumulatorenbatterie und Elektroskope ist ein großer Graphitwiderstand G eingeschaltet, so daß die Elektroskopblättchen ohne Gefahr des Durchschmelzens bis zum Anschlagen an die Schutzbacken gebracht werden können. Der Graphitwiderstand ist auf eine einfache Weise dadurch hergestellt, daß auf

einem Milchglasplättchen ein 75 mm langer und 0,5 mm breiter kräftiger Bleistiftstrich gezogen ist, der die Metallbacken, welche das Glasplättchen an beiden Enden festhalten, leitend verbindet. Die Handhabung der ganzen Eichvorrichtung wird sogleich aus der Konstruktion des Zellenschalters ersichtlich, dem ich eine möglichst zweckentsprechende und einfache Form zu geben bestrebt war. Die Konstruktion wurde in der mechanischen Werkstätte des Institutes ausgeführt. In eine Hartgummiplatte (Fig. 10, Taf. 6) sind parallel einer Längskante 30 runde Vertiefungen v_1 v_2 v_3 ꝛc. eingebohrt, entsprechend den 30 Zellenreihen der Batterie. Diese Löcher, die als Quecksilbernäpfe dienen, sind durch kurze Drähte mit den Klemmschrauben k_1 k_2 k_3 ꝛc. leitend verbunden. In einigem Abstand von dieser Löcherreihe und parallel zu ihr verlaufen 2 mit Quecksilber gefüllte Rinnen r_1 r_2. Durch 2 Metallbügel b_1 u. b_2 mit isolierenden Handgriffen kann jedes Quecksilbernäpfchen sowohl mit der einen, als auch mit der anderen Quecksilberrinne in leitende Verbindung gebracht werden. Die beiden Rinnen a_1 u. r_2 werden auch noch unter sich durch einen hohen Widerstand (1000 Ohm) verbunden. Von einer Rinne r_2 führen 2 Drähte weg, einer zum Elektroskop, der andere zum Voltmeter (siehe Hauptfigur.) Die Hartgummiplatte mit allen ihren Klemmschrauben steht, um die Isolierung zu erhöhen, auf Füßchen aus dem gleichen Materiale und ist in einen flachen Holzkasten eingebaut, der staubdicht verschlossen wird, wenn das Instrument außer Gebrauch steht. Um nun Elektroskop und Voltmeter auf die erste Spannungsstufe 10 Volt zu bringen wird die Rinne r_2 durch den Bügel b_2 mit dem ersten Quecksilbernapf v_1 verbunden. Um die Spannung auf 20 Volt zu erhöhen, setzt man zunächst den Bügel b_1 in den nächsten Quecksilbernapf v_2, verbindet also nun auch die Rinne r_1 mit der Batterie. Während dieses Uebergangsstadiums ist die 2. Zellenreihe durch den Widerstand W geschlossen. Infolge seiner Größe von 1000 Ohm fließt aber nur ein Strom von 0,01 Ampère in diesem Kreise und zwar nur so lange, als man Zeit braucht, um den ersten Bügel b_2 aus v_1 in dasselbe Loch v_2 nachzusetzen. Damit ist Elektroskop und Voltmeter auf die 2. Spannungsstufe 20 Volt gebracht, ohne daß die Zuleitung zum Elektroskop einen Augenblick unterbrochen worden wäre. Auf diese Weise fährt man fort, immer einen Bügel vor und den anderen nachzusetzen, bis die Elektroskopblättchen den größtmöglichen Ausschlag angenommen haben und geht dann wieder schrittweise auf 0 zurück.

Die Mittel der Ausschläge beider Elektroskopblättchen und die zugehörigen Voltmeterangaben werden graphisch aufgetragen. Die Eichungen von 5 Elektroskopen zeigten übereinstimmend das

nicht ohne weiteres zu erwartende Ergebnis, daß man bei auf- und absteigender Spannung ganz gleiche Eichkurven erhält.

Wiederholte Eichungen eines 10 Monate lang fast täglich gebrauchten Elektroskopes ergaben, daß die Beweglichkeit der Aluminiumblättchen mit der Zeit etwas zunimmt. Bei dem erwähnten Instrumente zeigte sich nach 10 Monaten eine Abweichung von 1 Volt (entsprechend $^1/_{10}$ Skalenteil) bei den höheren Spannungen.

2) Berechnung des Zerstreuungskoeffizienten.

Bei allen meinen Zerstreuungsmessungen habe ich zur Berechnung der Ladungsverluste die Elster-Geitel'sche Methode zugrunde gelegt, um sie mit den Ergebnissen der bereits vorliegenden Arbeiten vergleichen zu können. Elster und Geitel[1]) berechnen mit Hilfe des Coulomb'schen Zerstreuungsgesetzes den Elektrizitätsverlust des geladenen Zerstreuungskörpers in der Zeiteinheit und für das konstante Potentialniveau 1 zu:

$$E = \frac{1}{t} \log \frac{V_0}{V} - \frac{n}{t} \log \frac{V_0'}{V'}$$

und die in 1 Minute entwichene Menge der Elektrizität in % der ursprünglichen Ladung zu:

$$a = \frac{1}{1-n} \left(\frac{1}{t} \log \frac{V_0}{V} - \frac{n}{t} \log \frac{V_0'}{V'} \right)$$

Bei der Rechnung mit diesen Formeln nimmt man Brigg'sche Logarithmen, als Zeiteinheit $t = 15$ Minuten und multipliziert die erhaltenen Werte mit 100. Hiebei bedeutet V_0 die vor und V die nach der Exposition des geladenen Spannungskörpers am Elektroskop abgelesene Spannung in Volt; V_0' u. V' Anfangs- und Endspannung, die sich bei Exposition des Elektroskopes ohne Zerstreuungskörper ergibt und endlich n das Verhältnis der Kapazität des Spannungskörpers allein zu der des ganzen Systemes (Elektroskop und Spannungskörper.)

In diesen Formeln kommen einige Konstanten vor, die für die verwendeten Zerstreuungsapparate wiederholt bestimmt wurden und im folgenden angeführt sind.

3) Konstantenbestimmung.

Zur Bestimmung der Konstanten eines Zerstreuungsapparates ist immer eine Ladung des Elektroskopes allein notwendig. Nach Elster und Geitel geschieht dies durch Einsetzen eines Metallstiftes mit Hartgummigriff. Durch Berühren des Stiftes mit

[1]) J. Elster u. H. Geitel: Terrestrial Magnet. and Atmosph. Electr. 4, 220, 1899.

einem Pol der Zambonisäule wird das Elektroskop geladen und sodann die Ladesonde am isolierenden Handgriff aus dem Elektroskope gezogen. Dieser Griff isoliert gewöhnlich sehr schlecht, und auch sonst ist das Laden mit dem kleinen Stift unbequem. Durch einen Kunstgriff läßt sich nun die Anwendung einer Ladesonde ganz umgehen. Man schraubt in den Spannungskörper den beigegebenen sehr gut isolierenden Ebonitstift ein und setzt das Ganze auf das Elektroskop. Nun wird, wie gewöhnlich, geladen und dann der Spannungskörper am Ebonitstäbchen herausgezogen. Das Elektroskop bleibt geladen zurück. Vor dem weiteren Gebrauch muß natürlich der ebenfalls geladene Zerstreuungskörper durch Ableiten zur Erde, am besten mittels einer geerdeten Bunsenflamme erst vollständig entladen werden.

Das Kapazitätsverhältnis n wurde für die 3 verwendeten Elster-Geitel'schen Apparate als Mittelwert vieler Einzelmessungen bestimmt:

Elektroskop Nr. 785 $n = 0{,}48$
„ Nr. 783 $n = 0{,}46$
„ Nr. A.H. $n = 0{,}51$

Die Dimensionen des Spannungskörpers und des Schutzdaches waren bei diesen 3 Instrumenten völlig gleich. Nur die einzelnen Elektroskope zeigten geringe Abweichungen in ihren Dimensionen. Daher mögen wohl auch die verschiedenen Werte für n kommen. Zu erwähnen ist noch, daß sich diese Konstanten nicht änderten, so lange an den Apparaten nichts geändert wurde. Nach Einsetzen neuer Aluminiumblättchen für schadhaft gewordene müssen auch die Konstanten neu bestimmt werden.

Der Reduktionsdivisor R, mit welchem aus dem Werte E die Zahl a (s. S. 49) berechnet wird, ergibt sich aus der Beziehung: $R = 15\ (1-n)\ 0{,}4343$ und ist für die 3 Apparate:

Nr. 785 $R = 3{,}39$
Nr. 783 $R = 3{,}52$
Nr. A.H. $R = 3{,}19$

Das Korrektionsglied $\frac{n}{t} \cdot \log^{e} \frac{V_0'}{V'} \cdot 100$ trägt dem Verluste Rechnung, der durch mangelhafte Isolation und durch Elektrizitätsverlust im Elektroskope selbst hervorgebracht wird. Seine Ermittlung geschieht durch den Versuch, indem man die Elektrizitätszerstreuung bei geladenem Elektroskope mit offenem Deckel, aber ohne Spannungskörper bestimmt. Ich habe diese Bestimmung im Freien täglich einmal vorgenommen, besonders aber noch nach jeder Messung, welche ausnehmend hohe Elektrizitäts-

verluste ergab, die man etwa einer mangelhaften Isolation hätte zuschreiben können. Dabei hat sich herausgestellt, daß dieses Korrektionsglied gewöhnlich den Wert 0,02 nicht überschreitet. Nur bei ganz außergewöhnlich hohen Zerstreuungskoeffizienten stieg diese Konstante auf 0,03. Sie kann daher, als außerhalb der Genauigkeitsgrenze der Meßmethode liegend, in der Regel vernachlässigt werden. Dasselbe ist auch aus den Messungen V. Cuomus in Anacapri auf Capri[1]) ersichtlich, der jeder Ermittlung des Zerstreuungskoeffizienten eine solche des Korrektionsgliedes anschloß.

Beziehungskonstante zwischen 2 Apparaten. Es hat sich durch zahlreiche Messungen herausgestellt, daß bei gleichzeitiger Beobachtung mit 2 Instrumenten auch die von den Dimensionen derselben unabhängige Zahl a niemals die nämliche ist. Doch läßt sich eine Beziehungskonstante finden, mit der man die Angaben des einen Apparates auf die des anderen reduzieren kann. Diese Konstante wurde insbesondere vor jeder luftelektrischen Ballonfahrt für das Ballon- und Kontrollinstrument sorgfältig bestimmt.[2]) Im folgenden sei sie für jene beiden Zerstreuungsapparate angegeben, mit denen ich alle meine Messungen im Freien anstellte. Zur Bestimmung dieses Reduktionsfaktors wurden die 2 Apparate Nr. 783 und Nr. 785 auf einer weiten ebenen Wiese 10 m von einander entfernt in gleicher Höhe über dem Erdboden so aufgestellt, daß ihre Standlinie senkrecht zur Windrichtung lag. Nun wurde die Zahl a an Tagen mit klarem Wetter mehrmals bestimmt und die aus diesen Simultanbeobachtungen gefundenen Werte zu nachstehendem Mittel vereinigt:

$$a_+ \text{ (Nr. 783)} = 1{,}33\ a_+ \text{ (Nr. 785)}$$
$$a_- \quad \text{„} \quad = 1{,}08\ a_- \quad \text{„}$$
$$\text{Mittel: } a \text{ (Nr. 783)} = 1{,}20\ a \text{ (Nr. 785)}$$

Ueber die Gültigkeit des Coulomb'schen Zerstreuungsgesetzes.

Elster und Geitel benutzen, wie angegeben (s. S. 49) zur Reduktion der Angaben ihres Apparates das Coulomb'sche Zerstreuungsgesetz. Freilich waren die Anschauungen Coulombs über den Zerstreuungsvorgang wesentlich andere, als es die heutigen sind. Trotzdem hat das Zerstreuungsgesetz auch heute noch bis

1) V. Cuomos: Berichte der luftelektrischen Kommission, Göttingen 1902, S. 3 ff.
2) H. Ebert: Sitzungsbericht der k. bayer. Akad. der Wissenschaften, 31, 39, 1901.

zu einem gewissen Grade, wie H. Ebert[1]) rein formal gezeigt hat, Gültigkeit, wenn man auch jetzt annimmt, daß die Entladung nicht durch ein Entweichen der Elektrizität in die Luft, sondern durch eine Neutralisation infolge herangezogener Gasionen zu stande kommt. Nicht mehr gilt das Coulomb'sche Gesetz für eingeschlossene, ruhende, staubfreie Luftmassen. Für diese fand H. Geitel[2]), daß in gleichen Zeiten gleiche Elektrizitätsmengen am Zerstreuungskörper neutralisiert werden, unabhängig von der Spannungshöhe desselben. Dieselbe Erscheinung konnte H. Ebert[3]) im Freiballon beobachten, gegen welchen die Luftmassen nur eine sehr geringe, auf vertikale Ströme beschränkte Bewegung besitzen.

Man kann sich das elektrische Verhalten solcher ruhender Luftmengen so erklären, daß bei einer bestimmten Höhe der Spannung des Zerstreuungskörpers der maximale Ionenstrom erzeugt wird, der bei der vorhandenen Ionenkonzentration eben möglich ist. Abgeschlossene und ruhende Luftmassen verhalten sich also wie künstlich ionisierte Gase, in denen durch eine E. M. K. ein Ionenstrom erzeugt wird. Dieser erreicht, wie J. J. Thomson und E. Rutherford[4]) gezeigt haben bei gewisser Höhe der E. M. K. einen Maximalwert („Sättigungsstrom") und ist von da ab nicht mehr zu steigern. Viel komplizierter werden die Verhältnisse bei frei aufgestelltem Zerstreuungsapparat, wenn der Spannungskörper vom Schutzdach umgeben ist, so daß sich, wie E. Riecke[5]) ausführt, eine strenge Theorie des Versuches überhaupt nicht aufstellen läßt.

Ich habe nun experimentell untersucht, in wie weit bei der gebräuchlichen Aufstellung des Apparates das Coulomb'sche Zerstreuungsgesetz gültig ist. Zu diesem Zwecke wurden mit Schutzdach und Schutznetz lange Beobachtungsreihen angestellt, die durch Ablesen der Elektroskopspannung in kurzen Zeitabschnitten gewonnen wurden. Solche Messungen lassen sich nur an heiteren, windstillen Tagen mit Erfolg anstellen. Stärkere, steife Winde bewegen die Elektroskopblättchen und bringen dadurch in die kurz aufeinander folgenden Ablesungen eine große Unsicherheit. Böige Winde bewirken ein fortwährendes Schwanken der Entladungsgeschwindigkeit, was sich deutlich bei der graphischen Darstellung der Beobachtungsergebnisse zeigt.

---

[1]) H. Ebert: Terrestrial Magnet. and Atmosph. Electr. 6, 101, 1901.

[2]) H. Geitel: Phys. Zeitschr. 2, 116, 1900.

[3]) l. c. S. 102.

[4]) J. J. Thomson u. E. Rutherford: Phil. Mag. 42, 392, 1896.

[5]) E. Riecke: Denkschr. d. Kommission f. luftelektr. Forsch. München, 1903, S. 29.

Die Kurven 1 u. 1a zeigen die Zerstreuungsmessungen, die gleichzeitig mit 2 Apparaten am 1. Februar 1903 in Seeshaupt erhalten wurden, während aus S ein frischer böiger Wind wehte. Die Ablesungen geschahen alle Minuten, beide Instrumente trugen das Schutznetz.

Die Beobachtungen an windstillen Tagen ergeben sogleich einen wesentlichen Unterschied der Zerstreuungsreihen, je nachdem das Schutznetz oder das Schutzdach zur Verwendung kommt. Während bei ersterem sich regelmäßig verlaufende Kurven ergaben (s. Nr. 2, 3, 4) zeigte sich bei letzterem ein sehr unregelmäßiger Verlauf (s. Nr. 5 u. 5a). Dieser dürfte durch unkontrollierbare Erneuerungen der stagnierenden Luftmasse unter dem Schutzdach verursacht werden. Unter besonders günstigen Umständen wurden die Kurven 2, 3 u. 4 erhalten, und zwar mit Schutznetz in Seeshaupt am 29. Mai 1901 und 1. Juni 1902. Ihre Betrachtung lehrt folgendes: Oberhalb einer bestimmten Spannungshöhe (160 Volt) besteht der Sättigungsstrom. Man kann sich vorstellen, daß durch das weitmaschige Drahtnetz in der Zeiteinheit ebensoviele Ionen hineindiffundieren, als am Spannungskörper neutralisiert werden. Unterhalb einer bestimmten Spannung (von ca. 160 Volt) genügen die elektrischen Feldkräfte offenbar nicht mehr, um alle Gasionen zum Zerstreuungskörper heranzuziehen, es werden also nicht mehr in gleichen Zeiten gleiche Elektrizitätsmengen neutralisiert, sondern um so weniger, je niederer die Spannung des Ladekörpers ist. Hier befolgt die Entladung das Coulomb'sche Zerstreuungsgesetz.

Diese Erscheinung zeigt sich nur bei Anwendung des Netzes deutlich. Bei Verwendung des Schutzdaches kann sie durch die oben erwähnten Einflüsse leicht verdeckt werden. So trat z. B. bei einer gleichzeitigen Beobachtung mit 2 Apparaten mit Schutzdach (2 Beobachter) im Pinakothekgarten am 20. Juni 1902 die Grenze des Sättigungsstromes bei dem einen Apparate ziemlich deutlich hervor, während sie beim ganz gleich dimensionierten anderen Apparate nicht wahrzunehmen war.

Aus diesen Beobachtungen läßt sich eine nicht unwichtige Forderung für Zerstreuungsmessungen ableiten: Es erscheint mir unbedingt notwendig, die Anfangsspannung des Zerstreuungskörpers und die Expositionszeit so zu wählen, daß die Elektrizitätsverluste im Gebiete des Sättigungsstromes bleiben. Da man nun bei den gebräuchlichen Aluminiumblattelektroskopen nicht über eine Höchstspannung von ca. 250 Volt hinausgehen kann, so muß die Expositionszeit verkürzt werden. Die gewonnenen Werte können dann immer noch, zum Zwecke allgemeiner Vergleichbarkeit, auf die eingeführte Zeiteinheit (15 Min.) umgerechnet werden.

III. Beobachtungen.

Luftelektrische Messungen im Freien.[1])

a) Beobachtungen in München.

Meine luftelektrischen Messungen im Freien zerfallen in 3 Gruppen: in solche, die ich in München, in solche, die ich außerhalb Münchens, in Seeshaupt, am Südende des Starnbergersees und im Gebirge anstellte, und endlich in die, welche ich, anläßlich einer luftelektrischen Ballonfahrt, im Freiballon vornahm.

Die Münchner Beobachtungen wurden zum allergrößten Teile auf der Attika des Mittelbaues der technischen Hochschule angestellt. Der dazu verwendete Elster-Geitel'sche Zerstreuungsapparat mit Schutzdach fand in der Mitte der Nordseite der Plattform seine Aufstellung, so daß alle darunter liegenden Gebäudeteile möglichst symmetrisch zum Standorte verteilt waren.

Die gewonnenen Beobachtungsergebnisse bestätigen größtenteils schon bekannte Erscheinungen, so daß ich mich hier kurz fassen kann. Es dürfte übersichtlicher sein, das Zahlenmaterial nicht in seiner zeitlichen Aufeinanderfolge anzuführen, sondern gleich so zusammengefaßt, daß sich aus den einzelnen Abteilungen die gezogenen Folgerungen möglichst deutlich ersehen lassen. Schon die ersten Beobachtungen in München im November 1900 bestätigten die von Elster und Geitel[2]) gemachte Wahrnehmung, daß Nebel und Dunst in der Atmosphäre die Elektrizitätsverluste ganz bedeutend herabdrücken.[3]) Das Gleiche war der Fall an Tagen mit starker Bewölkung und Neigung zu Regen. Da diese Einflüsse schon wiederholt von anderen Beobachtern[4]) festgestellt wurden, glaube ich hier auf eine Angabe von Zahlen verzichten zu dürfen. In gleicher Weise bestätigte sich die von C. Linß[5]) beobachtete jährliche Periode des Zerstreuungskoeffizienten, daß nämlich selbst bei klarem Himmel und großer Durchsichtigkeit der Luft sich in den Wintermonaten bedeutend kleinere Elektrizitätsverluste ergeben, als im Sommer.

---

[1]) Die hauptsächlichsten Resultate nachstehender Messungen wurden bereits kurz veröffentlicht in: Berichte über luftelektr. Arbeiten im Jahre 1901/1902 erstattet von den Mitgl. d. luftelektr. Kommission f. d. Beratungen d. Kartellversammlung d. J. 1902, Nr. 2, S. 2 u. Phys. Zeitschr. 4, 93, 1902.

[2]) J. Elster u. H. Geitel: Terrest. Magnet. and Atmosph. Electr. 4, 224, 1899 und Annalen d. Physik II, 432 u. 438, 1900 und Wiener Akad. Ber. 101, IIa, 969, 1902.

[3]) Siehe z. B. d. Simultanmessungen zu d. Ballonfahrten H. Eberts: Meteorol. Zeitschr. 18, 339 u. 347, 1901.

[4]) A. Gockel: Veröff. d. Univ. Freiburg (Schweiz) 4, 45, 1902 und F. Exner: Wiener Akad. Ber. 112, IIa, 345, 1903.

[5]) W. Linß: Elektrotechn. Zeitschr. 11, 506, 1890.

Etwas ausführlicher sei hier ein nicht zu unterschätzender Einfluß auf luftelektrische Messungen angegeben, nämlich der Einfluß des Beobachtungsortes.

Durch den Vergleich der Beobachtungsergebnisse, die ich in München und im flachen Lande gewonnen hatte, kam ich bald zur Ueberzeugung, daß die in einer großen Stadt erhaltenen Werte alle mit einem Fehler behaftet sind. Dort muß der Staub und Rauch notwendig eine Verminderung der Beweglichkeit der Gasionen bewirken und damit eine Herabdrückung des Zerstreuungskoeffizienten. Dies zeigte sich sogar bei den Messungen, die ich auf der genannten flachen, allseits der Luftbewegung zugänglichen, über die umliegenden Häuser ragenden Attika anstellte. Die im Mai 1901 zum Teil in München und zum Teil auf ebener Wiese in Seeshaupt erhaltenen Werte bringen denn auch diesen Einfluß des Dunstes deutlich zum Ausdrucke.

Im folgenden sind die Mittelwerte aus den 4 Beobachtungen angegeben, die ich an jedem Vormittage der vermerkten Tage anstellte (s. Tab. 17.)

Tabelle 17.

In München:

Datum	Wetter	a+	a−	q
1. Mai 1901	Bewölkt, Wind leicht aus W.	0,63	0,57	0,91
2. Mai	Teilweise bewölkt, Wind leicht aus N.E.	0,57	0,73	1,28
6. Mai	Einzelne Cirruswolken, Windstille	0,45	1.11	2,47
8. Mai	Trübe, Wind schwach aus S.W.	0,53	0,35	0,65
13. Mai	Wolkenlos, Wind schwach aus E (Anticyklon)	1,10	1,37	1,24
15. Mai	3/4 bewölkt, Wind schwach aus N.	0,55	0,88	1,60
20. Mai	Wolkenlos und totale Windstille	0,55	0,88	1,60
21. Mai	Einzelne Kumuluswolken, Wind schwach aus N.	0,84	0,96	1,14
Mittel		0,69	0,85	1,27

In Seeshaupt:

Datum	Wetter	a+	a—	q
27. Mai 1901	Horizont bewölkt, Windstille	1,28	1,49	1,16
28. Mai	Einzelne Kumulus-wolken, Windstille	1,45	1,52	1,05
29. Mai	Einzelne Kumulus-wolken, Windstille	1,75	1,72	0,98
30. Mai	Trübe, Wind schwach aus N	0,80	1,39	1,74
31. Mai	Einzelne Kumulus-wolken, Windstille	1,30	1,58	1,22
1. Juni	Wolkenlos, Windstille	1,63	2,28	1,40
Mittel		1,37	1,66	1,26

Ein Vergleich der vorstehenden Zahlen zeigt, daß die im flachen Lande erhaltenen Werte ca. doppelt so groß sind, als die bei gleicher Witterung in der Stadt gemessenen.

Noch kleiner werden die Zerstreuungskoeffizienten innerhalb der Stadt auf einem freien Platz oder Garten, der rings von Häusern umstanden ist. Die umliegenden Häuser üben einen doppelten Einfluß auf den Elektrizitätsverlust des Ladungskörpers aus: Durch die teilweise Hemmung der freien Luftbewegung werden die absoluten Werte gleichmäßig herabgedrückt und durch die Deformation des Erdfeldes wird, wie später noch ausführlich gezeigt werden soll, das Verhältnis $q = \frac{a-}{a+}$ wesentlich vermindert.

Die beiden letztgenannten Einflüsse des Aufstellungsortes treten noch schärfer hervor, wenn der Zerstreuungsapparat im offenen Fenster eines Zimmers aufgestellt wird. Messungen, die ich im Juni 1901 bei Aufstellung des Apparates im offenen Fenster eines mitten in der Stadt gelegenen Wohngebäudes anstellte, lassen dies deutlich erkennen. Es sei noch erwähnt, daß sich die Beobachtungstage durch wolkenloses, windstilles Wetter auszeichneten.

Tabelle 18.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q
6. Juni 1901	10^{10} a. m.	+	224	0,33	
	10^{25}		218		0,85
	10^{30}	−	220	0,28	
	10^{45}		215		
	10^{50}	+	217	0,43	
	11^{05}		209,5		0,47
	11^{10}	−	216	0,20	
	11^{25}		212,5		
7. Juni	9^{55} a. m.	+	217,5	0,29	
	10^{10}		212,5		1,07
	10^{15}	−	219,5	0,31	
	10^{30}		214		
	10^{35}	+	217,5	0,23	
	10^{50}		213,5		1,13
	10^{55}	−	218,5	0,26	
	11^{10}		214		

Mittel: $a+ = 0{,}32$; $a- = 0{,}26$; $q = 0{,}81$.

Vergleicht man mit den vorstehenden Werten die im Mai 1901 in München auf der Attika und in Seeshaupt gemessenen Zerstreuungskoeffizienten, so ist der erwähnte Einfluß des Aufstellungsortes nicht zu verkennen.

Den Einfluß des Stadtdunstes auf die Elektrizitätszerstreuung konnten auch J. Elster u. H. Geitel [1]) bei Messungen in Palermo beobachten. Auch hier sanken die Zerstreuungswerte auf $^1/_2$ bis $^1/_3$ derjenigen herab, die im benachbarten Gelände gemessen wurden.

Aus dem Vorhergehenden dürften sich 2 Forderungen für den Beobachtungsort luftelektrischer Messungen aufstellen lassen:

1) Um zutreffende Werte über den Elektrizitätsgehalt der Atmosphäre zu erhalten, dürfen darauf abzielende Messungen nicht innerhalb einer Stadt vorgenommen werden, eine Forderung, die schon Dellmann [2]) vertrat und die neuerdings A. Schuster [3]) und besonders F. Exner [4]) auch für Potentialmessungen als namentlich wichtig hinstellte.

2) Das offene Fenster ist kein geeigneter Aufstellungsort für den Elster-Geitel'schen Zerstreuungsapparat.

---

[1]) J. Elster u. H. Geitel: Wiener Akad. Ber. 111, IIa, 981, 1902.
[2]) Dellmann: Poggendorfs Annalen 89, 258, 1853.
[3]) A. Schuster: Meteorol. Zeitschr. 13, 229, 1896.
[4]) F. Exner: „Denkschr. d. Kommission f. luftelektr. Forschungen" München 1903, S. 40.

b) Beobachtungen im flachen Lande.

Nach den in München gemachten Erfahrungen über den Einfluß des Dunstes einer großen Stadt auf die Elektrizitätszerstreuung erschien es wünschenswert, alle weiteren Messungen im flachen Lande vorzunehmen. Als Beobachtungsort wurde Seeshaupt am Südende des Starnbergersees wegen der überaus günstigen Terrainverhältnisse gewählt. Man findet hier flaches Land, Wald, große Sümpfe und eine ausgedehnte Wasserfläche beisammen, zudem liegt der Ort in der Nähe des Gebirges und mitten im Gewitterherde Bayerns.[1]) Alle diese Umstände ließen eine Beobachtung des Ionengehaltes der Luft unter den verschiedensten Einflüssen erhoffen.

Von Mai bis anfangs November 1901 wurden an allen heiteren oder nur mäßig bewölkten Tagen, eine mehrtägige Unterbrechung im Juni ausgenommen, mehrmals Messungen der Elektrizitätszerstreuung in der S. 21 ff. beschriebenen Weise vorgenommen. Der Apparat fand dabei in einem ebenen Wiesengarten, der nur vereinzelt von kleinen Bäumchen bestanden war, seine Aufstellung. Das elektrische Erdfeld konnte also als völlig normal angesehen werden. Der genannte Garten liegt an dem dem See abgewendeten Ende Seeshaupts; es war daher auch ein Einfluß des Wassers oder eine Störung durch Straßenstaub, trotz allseitiger Zugänglichkeit des Windes nicht zu befürchten. Da aber auch der Einfluß des Aufstellungsortes im Walde, im Sumpfe, am See ꝛc. untersucht werden sollte, so war der Standort des Apparates nicht immer derselbe. Ich möchte daher auch dieses Beobachtungsmaterial nicht in seiner zeitlichen Aufeinanderfolge anführen, sondern gleich nach verschiedenen Gesichtspunkten übersichtlich geordnet. Es zerfällt von selbst in 2 Hauptabschnitte. Der erste handelt von den Veränderungen der Leitfähigkeit ($a+$ und $a-$), der zweite von denen der Unipolarität (q).

Bevor ich zur Mitteilung der Zerstreuungskoeffizienten schreite, wie sie unter besonderen Verhältnissen erhalten wurden, sei hier zuerst das Beobachtungsmaterial angeführt, das an Tagen mit heiterem oder nur wenig bewölktem Himmel gewonnen wurde. Die Messungen der Elektrizitätszerstreuung geschahen regelmäßig zu den Zeiten 8^h—9^h, 11^h—12^h und 6^h—7^h. Die an den einzelnen Tagen erhaltenen Werte sind für jeden Monat zu einem Mittel zusammengefaßt und schließlich das Gesamtmittel für das Sommerhalbjahr 1901 gebildet.

---

[1]) Bezold: Zeitschr. f. Meteorologie, 200, 1883.

Tabelle 19.

Monate	8h bis 9h			11h bis 12h			6h bis 7h			Tagesmittel		
	a+	a−	q	a+	a−	q	a+	a−	q	a+	a−	q
Mai 1901	1,36	1,66	1,22	1,27	1,53	1,20	0,74	0,88	1,19	1,12	1,36	1,21
Juni	1,40	1,86	1,33	1,04	1,56	1,50	0,68	0,71	1,04	1,06	1,37	1,29
Juli	1,03	1,55	1,50	0,96	1,09	1,14	0.65	1,04	1,59	0,88	1,23	1,40
August	1,02	1,38	1,35	1,00	1,31	1,31	0,59	0,96	1,63	0,87	1,22	1,40
September	1,54	2,31	1,72	0,87	0,70	0,81	1,16	2,22	1,91	1,12	1,74	1,55
Tagesmittel der Monate Mai bis September (incl.)										1,01	1,38	1,37

Gesamtmittel des Zerstreuungskoeffizienten im Sommerhalbjahre 1901 in Seeshaupt: **1,19.**

c) Einfluß der Luftströmungen auf die Elektrizitätszerstreuung.

1) Horizontale Luftströmung (Wind.)

Die elektrischen Partikelchen der Luft müssen zweifelsohne durch deren Strömungen (Winde) fortgerissen werden. Der Wind wird daher stets neue Ionen in das elektrische Feld des geladenen Spannungskörpers hineintreiben, wo sie von den elektrostatischen Anziehungskräften erfaßt, eine Beschleunigung des Entladungsprozesses bewirken werden.

Dieser Einfluß wird von verschiedenen Beobachtern bestätigt. So nahm z. B. W. Caspari[1]) bei plötzlich einsetzendem S.E.-Winde eine bedeutende Zunahme der Elektrizitätszerstreuung wahr. Entsprechendes fand auch A. Gockel[2]) in Hamman el Lif, E. Mazelle[3]) in Triest, P. F. Schwab[4]), B. Zölß[5]) in Kremsmünster und namentlich J. Elster u. H. Geitel[6]) selbst, die auf Grund zweijähriger Beobachtungen in Wolfenbüttel feststellen konnten, daß mäßige Windgeschwindigkeiten den Elektrizitätsverlust beschleunigen, stärkere ihn dagegen herabsetzen, wahrscheinlich dadurch, daß die Ionen am Spannungskörper vorbeigerissen werden.

Dieser Einfluß läßt sich nicht ohne weiteres an jedem windigen Tage nachweisen, da er durch stärkere Einflüsse, wie sie durch die allgemeine Wetterlage bedingt werden, überdeckt werden

---

1) W. Caspari: Physikal. Zeitschr. 3, 522, 1902.

2) A. Gockel: Veröffentl. der Univ. Freiburg (Schweiz) 4, 20, 1902.

3) E. Mazelle: „Berichte über luftelektr. Arbeiten im Jahre 1901/1902" Göttingen, Bericht 3, S. 2.

4) P. F. Schwab: Wiener Akad. Ber. 112, IIa, 344, 1903.

5) B. Zölß: Wiener Akad. Ber. 112, IIa, S. 1903.

6) J. Elster u. H. Geitel: Wiener Akad. Ber. 111, IIa, 958, 1902.

kann. Nur aus einem größeren Beobachtungsmateriale oder unter besonders günstigen Umständen ist diese Windwirkung nachzuweisen. Letztere traf ich nun in Seeshaupt an.

Ein am Rande des Sees aufgestellter Apparat ist vor W.-Winden durch das hohe Ufer völlig geschützt. Der Wind wird erst eine ziemliche Strecke seewärts fühlbar. Es ist dies eine Erscheinung, die den Seglern auf dem Starnbergersee wohl bekannt ist. Die gewählte Uferstelle war nur von kleinen Weidenbüschen bestanden und hatte einen mehrere Meter breiten Saum, hinter dem erst die Böschung anstieg. Zuerst wurde nun der Zerstreuungsapparat auf einer ganz ebenen Wiese, mehrere 100 m landeinwärts aufgestellt und hier eine Messung des Zerstreuungskoeffizienten (mit Schutznetz) vorgenommen. Sogleich nachher wurde das Instrument an die erwähnte Uferstelle gebracht und nun im Windschatten, einmal hart am Wasser und einmal am Ende eines 6 m in den See hineinführenden Steges beobachtet. Es ergaben sich dabei die in nachstehender Tab. 20 angegebenen Werte, die auf 15 Min. Expositionszeit umgerechnet sind.

Tabelle 20.

Freie ebene Wiese s. w. von Seeshaupt.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q
5. Septemb. 1902	8^{23} a. m.	+	196,5	9,44	1,35
	8^{28}		152,5		
	8^{32}	−	196,5	12,73	
	8^{37}		144		
5. Septemb. 1902	8^{39} a. m.	−	196,5	13,02	1,16
	8^{44}		143		
	8^{47}	+	196,5	11,21	
	8^{52}		149,5		
I. Am Ende des Steges; II. Direkt am See.					
5. Septemb. 1902 I.	9^{10} a. m.	+	196,5	5,95	1,41
	9^{15}		170		
	9^{19}	−	196,5	8,42	
	9^{24}		160		
5. Septemb. 1902 II.	9^{31} a. m.	−	196,5	6,43	1,26
	9^{36}		168		
	9^{40}	+	196,5	5,11	
	9^{45}		173,5		

Aus den Beobachtungen ist der bedeutende Rückgang der Zerstreuungswerte bei Aufstellung des Apparates im Windschutze deutlich zu ersehen.

Noch ausgeprägter zeigte sich die gleiche Erscheinung bei Messungen im März 1903 in der Nähe von Höllriegelskreuth bei München. Zu anderweitigen Untersuchungen fand der Apparat 1) einmal seine Aufstellung in einem dichten Walde mit viel Unterholz, in welchem von dem draußen steif wehenden Winde nichts zu spüren war und dann 2) auf freiem ebenen Acker. Das Messungsergebnis zeigt nachstehende Tab. 21. Auch diese Beobachtungen wurden mit Schutznetz ausgeführt.

Tabelle 21.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q
24. März 1903 Nr. 1.	4^{11} p. m.	+	214,5	3,79	1,10
	4^{26}		162,5		
	4^{30}	−	217	4,16	
	4^{45}		160		
24. März 1903 Nr. 2.	5^{28} p. m.	+	214,5	16,46	1,22
	5^{38}		96		
	5^{42}	−	213,5	20,10	
	5^{52}		80		

Noch bei einer dritten Gelegenheit konnte ich den Einfluß des Windes auf die Elektrizitätszerstreuung feststellen. Es zeigte sich dabei, daß böige Winde ein fortwährendes Schwanken der Entladungsgeschwindigkeit verursachen. Da diese Ergebnisse im Zusammenhang mit anderen bereits (s. S. 53 ff.) dargestellt wurden, so sei hier nur darauf verwiesen.

2) Vertikale Luftströmungen (Cyklone.)

Leichter als der Einfluß des Windes läßt sich der der vertikalen Luftströmungen ermitteln, weil mit diesen meist eine ganz bestimmte Wetterlage verbunden ist.

Die Meteorologie unterscheidet 2 Arten vertikaler Luftströmungen:

a) Cyklone (aufsteigende Luftströme bei Barometerminimis).

b) Anticyklone (absteigende Luftströme bei Barometermaximis.)

Zu a. Schon den ältesten Beobachtern (De Romas 1755[1]) war bekannt, daß an trüben, bewölkten Tagen das Potentialgefälle viel geringer ist, als an heiteren. Auch die neueren Beobachtungen haben dies ausnahmslos bestätigt. Daß bei solcher Wetterlage nicht nur das Potentialgefälle, sondern auch der gesamte Elektrizitätsgehalt der Luft ein geringerer ist, kommt deutlich in den Messungen von L. Weber[2]) zum Ausdruck, der die elektrischen Ströme maß, die von der Luft durch die Schnur eines fliegenden Drachen zur Erde flossen. An bewölkten Tagen ergaben sich viel geringere Stromstärken, als an wolkenlosen. Schon der Umschwung des Wetters drückt sich in den elektrischen Verhältnissen der Atmosphäre aus. So haben J. Elster und H. Geitel[3]) beim Aufziehen eines Cirrusschirms vor barometrischen Depressionen ein Sinken des Potentialgefälles beobachtet. Auch der Neutralisationskoeffizient nimmt an bewölkten Tagen sehr niedrige Werte an, worauf zuerst C. Linß[4]) hinwies.

Bei meinen Messungen im Freien konnte ich einen doppelten Einfluß der Bewölkung wahrnehmen. Trat im Laufe eines zuerst heiteren Tages mehr und mehr zunehmende Bewölkung ein, die das Heranziehen einer barometrischen Depression verkündete, so begannen jedesmal die Zerstreuungswerte stark zurückzugehen. Dies gilt namentlich für —Ladungen. A. Gockel,[5]) der dasselbe beobachtete, schließt aus den Veränderungen der unipolaren Leitfähigkeit auf das kommende Wetter.

Wurde dagegen an einem trüben, völlig bewölkten Tage gemessen, so fand man schon von vornherein recht niedere Entladungswerte, die sich den ganzen Tag nicht änderten. Da dies schon bekannt ist,[6]) so wurde an stark bewölkten Tagen seltener beobachtet. Ich unterlasse daher die Angabe weiterer Zahlen.

Zu b. H. Ebert[7]) hat durch Beobachtungen im Freiballon nachgewiesen, daß sich die Unipolarität der Luft noch bis zu Höhen von 3000 m erstreckt. Absteigende Luftströme, die durchaus nicht aus übermäßig großen Höhen zu kommen brauchen,[8]) müssen

---

1) F. Exner: Wiener Akad. Ber. 93, IIa, 231, 1886.
2) L. Weber: Elektrotechn. Zeitschr. 10, 524, 1889.
3) J. Elster und H. Geitel: Wiener Akad. Ber. 101, II, 733, 1892.
4) C. Linß: Meteorol. Zeitschr. 4, 352, 1887.
5) A. Gockel: Veröffentl. d. Univ. Freiburg (Schweiz) 4, 38, 1902.
6) E. Mazelle: „Berichte über luftelektrische Arbeiten im Jahre 1901/1902" Göttingen 1902, 3, und A. Gockel: Physikal. Zeitschr. 4, 270, 1903, und P. F. Schwab: Wiener Akad. Ber. 112, IIa, 345, 1903.
7) H. Ebert: Meteorol. Zeitschr. 18, 349, 1901.
8) J. Hann: „Lehrbuch der Meteorologie" Leipzig 1901, S. 522.

einen Reichtum an + Ionen mit zur Erde führen. Im Gebiete einer Anticyklone sind daher hohe Entladungswerte für — Vorzeichen zu erwarten und damit im Zusammenhang ein Steigen des Potentialgefälles. In der Tat haben J. Elster und H. Geitel[1]) in Wolfenbüttel namentlich dann Maximalwerte des Potentialgradienten beobachtet, wenn über Deutschland anticyklonale Luftbewegung herrschte, ebenso F. Exner.[2])

Bei meinen luftelektrischen Messungen konnte ich wiederholt wahrnehmen, wie stets dann, wenn der Beobachtungsort in das Gebiet des barometrischen Maximums hineingezogen wurde und Aufklärung des Wetters eintrat, auch ein beträchtliches Steigen der q Werte stattfand. Diese Erscheinung zeigt sich schon in den Zahlen der Kontrollmessung, die ich anläßlich einer Ballonfahrt anstellte. [3])

Im folgenden sind die hierher gehörigen Beobachtungen in Seeshaupt angeführt. Sie beziehen sich auf Tage, die am Morgen noch bewölkt waren. Im Laufe des Vormittags war unter Auflösung der Wolken Aufheiterung eingetreten, die nach Ausweis der Wetterkarte durch Ausbreitung einer Anticyklone verursacht wurde. Die Erscheinung zeigte sich namentlich dann recht deutlich, wenn der hohe Druck rasch heranrückte, so daß ein kräftiges Einsetzen eines absteigenden Luftstromes über dem Beobachtungsorte zu erwarten war.

Ich hatte mehrmals Gelegenheit, diese Erscheinung bei besonders raschem Heranrücken hohen Druckes zu studieren. Das Ergebnis findet sich in nachfolgender Tab. 22 zusammengestellt. Hierbei ist die Wetterlage nach den Wetterkarten der betreffenden Tage genau angegeben und zum Vergleiche sind die Monatsmittel der q- Werte hinzugefügt.

Tabelle 22.

Datum	Tagesmittel q	Monatsmittel q	Barometerstand in München	Wetterlage nach Angabe der Wetterkarte
29. Mai 01	1,07		763	Zahlreiche Gewitter in Süddeutschland
30. „	1,76	1,21	761	Wolkenloser Himmel.
31. „	1,45		764	Heiteres, trockenes Wetter in Südbayern.

[1]) J. Elster u. H. Geitel: Wiener Akad. Ber. 98, IIa, 955, 1889.
[2]) F. Exner: Wiener Akad. Ber. 96, IIa, 428, 1887.
[3]) H. Ebert: Meteorol. Zeitschr. 18, 347 u. 348, 1901.

Tabelle 22 (Fortsetzung.)

Datum	Tagesmittel q	Monatsmittel q	Barometerstand in München	Wetterlage nach Angabe der Wetterkarte
16. Juli 01	0,92		768	Wolkiges Wetter, Barometer im Steigen begriffen.
17. „	1,71	1,40	772	Ein Kern von mehr als 770 mm Luftdruck hat sich über Süddeutschland ausgebildet.
18. „	1,65		770	Wolkenlos und warm.
2. August	—		759	Trüb, regnerisch, kühl.
3. „	1,71	1,40	768	Von Westen her ist der hohe Druck energisch nachgerückt; Aufklärung eingetreten.
4. „	—		768	Heiter und warm.
7. August	1,24		759	Trüb, zeitweise regnerisch.
8. „	1,73	1,40	768	Das barometrische Maximum hat sich von Westen her rasch nach dem Kontinent herein ausgebreitet; Aufklärung eingetreten.
9. „	1,35		768	Heiteres und warmes Wetter.
20. August	1,29		768	Wolkig mit Neigung zur Gewitterbildung.
21. „	1,67	1,40	771	Hoher Druck erstreckt sich ziemlich weit in den Kontinent herein.
22. „	1,49		771	Wolkenloses, warmes Wetter.

3) Föhnwind.

P. Czermak[1]) hat im Dezember 1901 zu Innsbruck den Einfluß des Föhnwindes auf die Elektrizitätszerstreuung untersucht. Er kam zu dem Ergebnis, daß an Föhntagen der Elektrizitätsverlust das 4 bis 10 fache des an gewöhnlichen Tagen erreicht. Besonders rasch ging die Zerstreuung der — Ladungen vor sich, woraus auf die Erhaltung des Charakters der Höhenluft geschlossen werden kann. Diese Beobachtung wurde durch Messungen W. Caspars[2]) in Brienz und durch die A. Gockels[3]) auf dem Guggisberge bestätigt. Letzterer fand jedoch, im Gegensatze zu den beiden ersten Beobachtern ein Sinken der unipolaren Leitfähigkeit mit einsetzendem Föhnwinde.

Nach meinen Beobachtungen genügt schon das Eintreten der „Föhnlage",[4]) die sich durch besondere Durchsichtigkeit, Trockenheit und Wärme der Luft

[1]) P. Czermak: Phys. Zeitschr. 3, 185, 1902.
[2]) W. Caspari: ebenda 3, 523, 1902.
[3]) A. Gockel: Veröffentl. d. Univ. Freiburg (Schweiz) 4, 26, 1902.
[4]) J. Hann: „Lehrbuch der Meteorologie" Leipzig 1901, S. 602.

auszeichnet und die sich in Seeshaupt am plastischen Hervortreten des Gebirges leicht erkennen ließ, um eine wesentliche Erhöhung der Zerstreuungswerte zu bewirken. Setzt dann ein frischer Föhnwind ein, so steigen diese Werte in der Tat auf ein Vielfaches der an gewöhnlichen heiteren Tagen beobachteten an.

Dies konnte ich schon im April 1901 in München konstatieren. Hier erreichen die Zerstreuungswerte nur unter besonders günstigen Umständen (Anticyklone) 1 % der Anfangsladung per 1 Minute (s. Tab. 17). Am 26. u. 27. April 1901 stiegen sie unter dem Einflusse des Föhnwindes auf das Doppelte. Noch deutlicher trat die Wirkung des Föhns in Seeshaupt, das bedeutend näher dem Gebirge liegt, hervor. Mehrere Messungen, die an Föhntagen angestellt wurden, zeigten, daß die Elektrizitätsverluste mit dem Einsetzen des Föhnwindes steigen, mit seinem Abflauen aber zurückgehen. Sie erhalten sich also an einem Föhntage nicht beständig auf gleicher Höhe. Die in Tab. 23 gegebenen Beobachtungsdaten lassen dies deutlich erkennen. Es sei hiezu bemerkt, daß die 4 Messungen im Jahre 1901 mit Schutzdach, die im Jahre 1902 mit Schutznetz vorgenommen wurden. Bei normalem Wetter erreichen die Zerstreuungswerte mit Schutznetz ungefähr den 3 fachen Betrag der mit Schutzdach gemessenen, also ca. 3 % der Anfangsladung per 1 Minute.

Tabelle 23.

Datum	Zeit	a+	a−	q	Wetterlage
24. Juli 1901	10^{30}—11^{05} a.m.	2,06	1,68	0,81	Frischer S.W.-Wind (Föhn) Kumuluswolk.
	11^{10}—11^{45} „	1,88	2,46	1,30	„ „
	1^{15}— 1^{50} p. m.	2,09	2,52	1,21	„ Wolkenlos.
	7^{45}—8^{20} „	1,07	2,40	2,24	„ „
25. Juli 1901	8^{00}—8^{35} a. m.	1,51	2,29	1,45	Föhnlage; kein Wind; dreiviertel bewölkt.
	11^{00}—11^{35} „	0,95	1,22	1,29	„ „ „
	6^{05}—6^{40} p. m.	1,96	2,38	1,22	„ „ weniger bewölkt.
18. Septbr. 1901	10^{55}—11^{30} a.m.	2,82	3,50	1,24	Starker Föhnwind, einz. Kumuluswolken.
	4^{30}—5^{05} p. m.	1,39	2,78	2,00	Wind abgenommen, Bewölkung stärker.
5. Oktober 1901	8^{55}—9^{30} a. m.	2,44	4,54	1,86	Starker Föhnwind; einzelne kl. Wölkchen.
	11^{00}—11^{35} „	2,57	3,07	1,19	„ „
	1^{00}—1^{35} p. m.	3,41	3,81	1,12	„ wolkenlos.
	2^{45}—3^{20} „	2,10	3,53	1,68	„ „
	6^{10}—6^{45} „	1,24	1,85	1,49	Wind ganz schwach; einzelne Wölkchen.
	7^{15}—7^{50} „	1,25	2,22	1,78	„ wolkenlos.
1. Juni 1902	9^{45}—10^{10} a.m.	9,98	13,98	1,40	Föhnwind schwach aus S; einz. Wölkchen.
	10^{48}—10^{58} „	9,78			„ „ „
Beobachtung mit Schutznetz!	11^{24}—11^{34} „		12,52	1,28	„ „ „
	4^{32}—4^{47} p. m.		5,93		Windstille „
	4^{55}—5^{10} „	3,88		1,53	„ „
	5^{37}—5^{52} „	3,30			„ „
	6^{15}—6^{30} „		3,26	0,99	„ „

Vergleicht man mit den Zahlen der obigen Tab. 23 die Mittelwerte der Tab. 19, so ergibt sich eine Steigerung der Zerstreuungskoeffizienten bis zum vierfachen der normalen Beträge. Die q Werte überschreiten nur etwa in der Hälfte der Fälle ihre normale Größe.

4) Gewitter.

Bei der Entstehung eines Gewitters spielen mächtige Luftströmungen eine bedeutsame Rolle. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß dieselben die Elektrizitätszerstreuung beeinflussen, wenn auch nicht gesagt sein soll, daß sie die alleinige Ursache der vor und während eines Gewitters auftretenden abnormen Werte des Zerstreuungskoeffizienten bilden. Ich hatte Gelegenheit, an mehreren Tagen die Elektrizitätszerstreuung bei Gewittern zu beobachten. Wird hiezu der Zerstreuungsapparat mit Schutzdach oder Schutznetz verwendet, so läßt sich nur bis zum Eintritt des Gewitterregens im Freien messen. Wählt man als Standort des Apparates das offene Fenster eines Gebäudes, so ergeben sich Werte, die in unregelmäßiger Weise von den im Freien beobachteten abweichen, worauf auch W. Caspari [1]) hinwies. Besser geeignet ist der Ebert'sche Aspirationsapparat, den man derart in der Fensteröffnung so aufstellt, daß er die Luft von außen hereinsaugt.

Die ersten Beobachtungen an Gewittertagen wurden in dem erwähnten Garten in Seeshaupt angestellt.

26. Mai 1901. Schon am Vormittage war ein schwaches Gewitter über dem Beobachtungsorte niedergegangen. Nachmittags gegen 5 Uhr zog ein zweites aus W. heran. Eine Messung der Elektrizitätszerstreuung lieferte folgende Werte:

4^{55}—5^{30} p. m. $a_- = 2{,}90$; $a_+ = 0{,}48$ $(q = 6{,}04)$

Während der letzten 5 Minuten der Messung (a_+) begann ein leichter Regen, dem dann der Ausbruch des Gewitters folgte.

27. Mai 1901. Vormittags ergaben sich bei heiterem Himmel normale Zerstreuungswerte. Gegen 6 Uhr abends zog aus W. ein Gewitter herauf. Bei Windstille und schon bedecktem Himmel ergaben sich folgende Zerstreuungswerte:

6^{00}—6^{35} p. m. $a_+ = 2{,}34$; $a_- = 2{,}42$ $(q = 1{,}03)$

Am N. Himmel hatten sich dichte schwarze Gewitterwolken zusammengeballt. Unter Blitzen und heftigem Donnern wurde eine weitere Messung angestellt.

6^{40}—7^{15} p. m. $a_+ = 1{,}75$; $a_- = 0{,}37$ $(q = 0{,}21)$

Unmittelbar nach der letzten Ablesung (7^{15} p. m.) begann ein starker Gewitterregen, der weitere Beobachtungen unmöglich machte.

---

[1]) W. Caspari: Physik. Zeitschr. 3, 523, 1902.

7. August 1901. Gegen 9 Uhr a. m. trieb ein starker Wind aus W. Gewitterwolken heran. Während die Sonne noch schien, wurden folgende Werte gemessen:

9^{30}—10^{05} a. m. $a+ = 2{,}40$; $a- = 2{,}13$ $(q = 0{,}89)$

Weitere Beobachtungen wurden durch den Regen verhindert. Nach 11 Uhr a. m. setzte der Regen kurze Zeit aus, während aus W. neue Wetterwolken heraufzogen. Die Regenpause wurde sofort zu einer Beobachtung der Zerstreuung benützt.

11^{31}—12^{06} p. m. $a- = 2{,}71$; $a+ = 1{,}75$ $(q = 1{,}55)$

Am 4. Juni 1902 verfolgte ich die Elektrizitätszerstreuung mit Hilfe des Ebert'schen Aspirationsapparates während des ganzen Verlaufes eines Gewitters. Der Apparat wurde im offenen Fenster eines Zimmers aufgestellt, das sich im 3. Stock eines im Mittelpunkte Münchens gelegenen Hauses befand. Die Erdleitung des Elektroskopgehäuses stand mit einer am Fenster vorbeiführenden Dachrinnenröhre in leitender Verbindung. Der Ventilator des Instrumentes, das ca. 20 cm über die Fensterbrüstung hinausragte, saugte Außenluft durch, ohne daß der Spannungskörper vom Regen getroffen werden konnte. Man fand:

Tabelle 24.

Zeit	Ladg.	Volt	E. st. E. im m^3	Wetter
3^{57} p. m.	+	182,5	—	Gewitter zieht heran;
4^{07} „		176,5	0,30	ferner Donner.
4^{11} p. m.		176,5	+	Starker Regen, heftiges
4^{21} „	—	162,5	0,70	Donnern und Blitzen.
4^{31} „		140,5	1,10	
4^{35} p. m.	+	177	—	Regen aufgehört;
4^{45} „		171	0,30	schwacher Donner.
4^{50} p. m.	—	171	+	Regen beginnt wieder;
5^{00} „		167	0,20	Donner stärker.
5^{05} p. m.	+	178,5	—	Regen stark, Donner
5^{15} „		153,5	1,25	laut.
5^{20} p. m.	—	171	+	Regen schwach; heftiges
5^{30} „		155,5	0,77	Donnern und Blitzen.
5^{35} p. m.	+	176	—	Regen stärker, Donner
5^{45} „		161,5	0,73	schwächer.
5^{50} p. m.	—	176	+	Regen aufgehört; kein
6^{00} „		169	0,35	Donnern u. Blitzen mehr.
6^{05} p. m.	+	175,5	—	Gewitter ganz vorbei.
6^{15} „		169	0,33	

Eine direkt hieran angeschlossene Isolationsprüfung ergab, daß sich die vorzügliche Isolierfähigkeit des Bernsteinstopfens trotz des Durchsaugens der feuchten Luft durch den Apparat völlig erhalten hatte.

Am folgenden Tag, den 5. Juni 1902, wurde am selben Ort eine vergleichende Zerstreuungsmessung angestellt. Es herrschte den ganzen Tag über wolkiges Wetter. Nur zeitweise brach die Sonne durch. Auch am 13. Juni 1902, ebenfalls einem Tag mit bewölktem Himmel wurde am Nachmittage mit demselben Aspirationsapparat und am selben Orte eine Beobachtung angestellt. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in nachstehender Tab. 25 niedergelegt.

Tabelle 25.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	E. st E. im m^3	q [2]
5. Juni 02	10^{35} a. m.	+	177,5	−	
	10^{45} „		173,5	0,20	0,80
	10^{50} a. m.	−	173	+	
	11^{00} „		168	0,25	
13. Juni 02	4^{50} p. m.	+	180	−	
	5^{00} „		175	0,25	0,88
	5^{05} p. m.	−	179	+	
	5^{15} „		174,5	0,22	

Bei diesen Messungen mit dem Ebert'schen Apparat wurde 10 Minuten aspiriert und die so erhaltenen Werte auf die gewählte Zeiteinheit 15 Min. umgerechnet. [1])

Aus den vorstehend angeführten Zahlen ist ersichtlich, daß die bei einem Gewitter auftretenden Zerstreuungskoeffizienten auf das fünf- bis sechsfache

---

[1]) H. Ebert: Illustr. aëronaut. Mitteilungen 7; 17; 1903.

[2]) **Anmerkung.** Bei positiv geladenem Spannungskörper des Aspirationsapparates berechnet sich die im m^3 Luft enthaltene Menge negativer Elektrizität E− in E. S. E. und umgekehrt. Dem nach dem Elster-Geitel'schen Verfahren gewonnenen Werte $q = \frac{a-}{a+}$ entspricht demnach hier der Quotient $q = \frac{E+}{E-}$ (Vergl. S. 20)

der an normalen Tagen (s. Tab. 19) beobachteten Werte anwachsen können. Außerdem ergibt sich, namentlich aus den Messungen mit dem Ebert'schen Aspirationsapparat, (s. Tab. 24) daß sich die hohen Zerstreuungswerte nicht während des ganzen Gewitters konstant erhalten, sondern jähen und beträchtlichen Schwankungen unterworfen sind. Aus diesem Grunde erscheint es mir nicht ratsam, zwei, wenn auch unmittelbar nacheinander gemessene Werte von a+ und a— zu einem q zusammenzufassen. Ein Blick auf Tab. 24 lehrt, daß sich auf diese Weise die verschiedensten Zahlen für die unipolare Leitfähigkeit q konstruieren ließen.

Vielleicht ist die Angabe Pocchettinos,[1]) daß während eines Gewitters eine markierte Polarität (großes a+) auftritt und die E. v. Schweidlers,[2]) der kleine q-Werte fand, in diesem Sinne zu ergänzen. Bemerkenswert erscheint noch, daß kurz vor Beginn des Gewitterregens die Elektrizitätszerstreuung plötzlich stark sinkt. (Siehe die Messungen am 26. Mai, 27. Mai 1901 und 4. Juni 1902.) In schöner Uebereinstimmung mit den hier angeführten Werten befinden sich die von W. Caspari[3]) in Brienz kurz nach Aufhören eines furchtbaren Gewitters mit einem Zerstreuungsapparat gemessenen Zahlen.

Das Verhalten des Zerstreuungskoeffizienten bei Gewittern gleicht ganz dem des Potentialgradienten. Schon Stunden vor einem Gewitter erleidet derselbe nach J. Elster u. H. Geitel[4]) bedeutende Störungen. Während des Gewitters tritt dann ein rascher Wechsel des Potentialgefälles nach Größe und Vorzeichen ein, oft so schnell, daß die selbstregistrierenden Apparate nicht zu folgen vermögen.[5]) Die Schwankungen werden erklärlich durch das analoge Verhalten der unipolaren Leitfähigkeit der Luft, durch die ja im Allgemeinen das Potentialgefälle bedingt wird. Es erscheint mir nach dem Vorhergesagten nicht unwahrscheinlich, daß alle diese Erscheinungen in den bei Gewittern auftretenden Luftströmungen ihre Ursache haben, die durch eine plötzliche Störung des Gleichgewichtes der Atmosphäre hervorgerufen werden.

---

1) Pocchettino: Meteorolog. Zeitschr. 18; 54; 1901.
2) E. v. Schweidler: Wiener Akad. Ber. 111; IIa; 1473; 1902.
3) W. Caspari: Physikal. Zeitschr. 3; 522; 1902.
4) J. Elster und H. Geitel: Meteorol. Zeitschr. 8; 333; 1891.
5) T. C. Mendenhall: Memoirs of the (American) national academy of sciences, 169; 1889.

b) Veränderungen der unipolaren Leitfähigkeit der Luft.

1) Die unipolare Leitfähigkeit bei normalem Erdfelde.

Unter dem Einflusse des normalen elektrischen Feldes über der Erde müssen die + Jonen in steter Wanderung zur Erdoberfläche hin begriffen sein, es entsteht ein Jonenstrom. Der Gedanke, diesen Strom durch sehr empfindliche Galvanometer wirklich zu messen wurde zuerst von der luftelektrischen Kommission der Kartellversammlung zu Göttingen 1901[1]) ausgesprochen. Bald darauf hat H. Ebert[2]) derartige Messungen mit Erfolg durchgeführt und eine mittere Dichte des Jonenstromes von $1{,}7 \cdot 10^{-16} \frac{\text{Amp.}}{\text{cm}^2}$ gefunden.

Durch das unausgesetzte Zuströmen von + Jonen zur Erdoberfläche hin sowie das Empordringen derselben aus dem Erdboden muß in ihrer unmittelbaren Nähe ein Ueberschuß dieser Jonenart erzeugt werden. Derselbe wird dort besonders groß sein, wo die Intensität des elektrischen Feldes eine hohe ist, z. B. auf Bergspitzen, er wird dort nicht vorhanden sein, wo die die + Jonen heraustreibende Feldkraft fehlt, z. B. in Hohlräumen. Hieraus erklärt sich die auf ebenem Felde bei schönem Wetter beobachtete ausgesprochene Unipolarität der atmosphärischen Leitfähigkeit und ihr Fehlen in Hohlräumen.

Gegen diese Auffassung läßt sich aber ein Bedenken erheben. So führen z. B. J. Elster und H. Geitel[3]) an, daß unter der Wirkung des Erdfeldes sich das Schutzdach des Apparates und alle umliegenden Leiter — laden werden und dadurch bei geladenem Spannungskörper eine Beschleunigung der Entladung bewirken, ganz ebenso, wie es bei dem bekannten „Käfigversuche“[4]) der Fall ist. Auf diese Weise könnte, selbst bei völlig gleichmäßiger Verteilung der beiden Jonenarten in der Luft eine unipolare Verschiedenheit der Elektrizitätszerstreuung zu stande kommen.

Zur Aufklärung dieser Verhältnisse ist eine direkte Messung der im m³ enthaltenen + und — Elektrizitätsmengen, wie sie durch den Ebert'schen Aspirationsapparat ermöglicht wird, am geeignetsten. Das Ergebnis einer gleichzeitigen Messung mit dem Elster-Geitel'schen und Ebert'schen Apparat zeigt nachstehende Tabelle 26.

---

[1]) „Programm für systemat. Beobacht. d. Luftelektr.“, k. Gesellsch. d. Wissensch. z. Göttingen Nr. 4; 3; 1901.

[2]) H. Ebert: Physikal. Zeitschr. 3; 338; 1902.

[3]) J. Elster u. H. Geitel: „Sitzungsprotok. d. luftelektr. Kommission d. Delegirten-Vers. d. kartell. Akademien z. Göttingen“ 1902; 5, u. Wiener Akad. Ber. 111, **II a**; 962; 1902.

[4]) Dieselben: Terrestrial Magnet. and Atmosph. Electr. 4; 229; 1899.

Tabelle 26.

Aspirationsapparat						Zerstreuungsapparat					
Datum	Zeit	Ladg.	Volt	E. st. E. im m^3	q [1]	Zei	Ladg.	Volt	a	q	Bemerkung
14. April 02	4^{11} p. m.	+	169	− 0,23	1,96	4^{11} p. m.	+	176	7,86	1,42	Schutznetz
	4^{26} "		162			4^{26} "		93			
	4^{30} p. m.	−	189	+ 0,45		4^{30} p. m.	−	197,5	11,16		
	4^{45} "		175,5			4^{45} "		80			
16. April 02	4^{20} p. m.	+	166	− 0,22	1,05	4^{20} p. m.	+	210	5,10	1,38	Schutznetz
	4^{35} "		159,5			4^{35} "		139			
	4^{40} p. m.	−	163,5	+ 0,23		4^{40} p. m.	−	218	7,06		
	4^{55} "		156,5			4^{55} "		123			
	5^{00} p. m.	+	173	− 0,17	1,94	5^{00} p. m.	+	207	5,61	1,45	Schutznetz
	5^{15} "		168			5^{15} "		131,5			
	5^{20} p. m.	−	185	+ 0,33		5^{20} p. m.	−	216	8,11		
	5^{35} "		175			5^{35} "		112			
	5^{44} p. m.	+	180	− 0,27	1,22	5^{44} p. m.	+	213	1,06	2,14	Schutzdach
	5^{59} "		172			5^{59} "		195,5			
	6^{03} p. m.	−	185	+ 0,33		6^{03} p. m.	−	208,5	2,27		
	6^{18} "		175			6^{18} "		173,5			

[1]) Siehe Anmerkung S. 68.

Tabelle 26 (Fortsetzung.)

Aspirationsapparat						Zerstreuungsapparat					
Datum	Zeit	Ladg.	Volt	E. st.E. im m³	q	Zeit	Ladg.	Volt	a	q	Bemerkung
30. Mai 02	6^{50} p. m.	+	165	−		6^{50} p. m.	+	196			
	7^{00} „		159	0,30		7^{00} „		166,5	3,02		
	7^{05} p. m.	−	160,5	+	1,17	7^{05} p. m.	−	199		1,48	Schutznetz; umgerechnet auf 15 Min.
	7^{15} „		153,5	0,35		7^{15} „		156,5	4,46		
	7^{47} p. m.	+	162,5	−		7^{47} p. m.	+	199			
	7^{57} „		159	0,12		7^{57} „		159,5	4,10		
	8^{00} p. m.	−	164	+	2,92	8^{00} p. m.	−	199		3,11	Schutznetz; umgerechnet auf 15 Min.
	8^{10} „		153,5	0,35		8^{10} „		100	12,75		
1. Juni 02	9^{45} a. m.	+	174	−		9^{45} a. m.	+	198			
	9^{55} „		170,5	0,12		9^{55} „		115,5	9,98		
	10^{00} a. m.	−	175,5	+	2,75	10^{00} a. m.	−	206,5		1,40	Schutznetz; umgerechnet auf 15 Min.
	10^{10} „		166	0,32		10^{10} „		97	13,98		

Vorstehende Simultanbeobachtungen wurden in Seeshaupt bei ganz klarem Wetter angestellt. Die Apparate waren auf freiem Felde in der S. 51 beschriebenen Weise aufgestellt. Beide Apparate zeigen, von kleinen Unregelmäßigkeiten abgesehen, einen übereinstimmenden Gang der unipolaren Leitfähigkeit. Dieses Ergebnis bestätigt also die Auffassung, daß die Unipolarität der atmosphärischen Leitfähigkeit durch einen Ueberschuß von + Ionen in der Nähe der Erdoberfläche zu stande kommt. In höheren Luftschichten muß sie abnehmen, wie dies in der Tat H. Eberts [1]) Messungen im Freiballon ergeben haben.

[1]) H. Ebert: Meteorolog. Zeitschr. 18, 349, 1901.

2) Die unipolare Leitfähigkeit bei deformiertem Erdfelde.

Nach dem Vorhergehenden muß jede Aenderung der Stärke des elektrischen Erdfeldes deutlich in dem Werte q für die unipolare Leitfähigkeit zum Ausdruck kommen. Die größten Werte, der größte Ueberschuß an + Jonen, müssen sich auf kahlen Bergspitzen finden, die kleinsten Werte in Hohlräumen. Alle dazwischen liegenden Zahlen werden durch größere oder geringere Deformation des Erdfeldes, also durch Vermehrung oder Verminderung der die + Jonen zur Erdoberfläche treibenden Feldkraft hervorgebracht, denn von diesem Antriebe hängt die Größe des Jonenstromes und damit die Größe des Ueberschusses der + Jonen über die — ab.

Um die Richtigkeit dieser Folgerung zu erweisen, habe ich Messungen der Elektrizitätszerstreuung innerhalb von Gebäuden, an geschützten Plätzen, in Wäldern, in Busch- und Schilfbeständen vorgenommen. Die Messungen innerhalb der Gebäude wurden im Zusammenhang mit anderen S. 32 ff., die im offenen Fenster ausgeführten S. 57 angeführt. Ich komme daher gleich zu den Beobachtungen im Wald, Buschwerk und Schilf. Diese Messungen wurden zu verschiedenen Jahres- und Tageszeiten, bei heiterem Wetter ausgeführt, teils unter Verwendung des Schutzdaches, teils des Schutznetzes, wobei stets eine vergleichende Beobachtung auf freier ebener Wiese voranging oder folgte. Die Ergebnisse zeigt folgende Tabelle 27.

Tabelle 27.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q	Bemerkung	Aufstellungsort
2. Juni 1901	10^{40} a.m.	+	196	1,14	1,01	Schutzdach	Gemischter, lichter Wald s. von Seeshaupt
	10^{55} „		179				
	11^{00} a.m.	—	206	1,15			
	11^{15} „		188				
	11^{40} a.m.	+	207	1,14	1,24	Schutzdach	Freie, ebene Wiese s. von Seeshaupt
	11^{55} „		189				
	12^{00} m.	—	207	1,41			
	12^{15} p.m.		185				

Tabelle 27 (Fortsetzung.)

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q	Bemerkung	Aufstellungsort
6. August 1901	3^{20} p. m.	+	199,5	1,50	1,17	Schutzdach	Freie, ebene Wiese s. von Seeshaupt
	3^{35} „		177				
	3^{40} p. m.	−	177	1,75			
	3^{55} „		154				
	5^{15} p. m.	+	198,5	0,55	1,00	Schutzdach	Dichter Wald mit Jungholz s.ö. von Seeshaupt
	5^{30} „		190				
	5^{35} p. m.	−	198	0,55			
	5^{50} „		190				
13. Okt. 1902	10^{30} a. m.	+	201,5	1,21	1,28	Schutzdach	Freie, ebene Wiese s. von Seeshaupt
	10^{45} „		183				
	10^{50} a. m.	−	198,5	1,55			
	11^{05} „		175,5				
	11^{20} a. m.	+	201,5	0,67	0,79	Schutzdach	Dichter Wald (ringsum viel Gebüsch) s. von Seeshaupt
	11^{35} „		191				
	11^{40} a. m.	−	202	0,53			
	11^{55} „		194				
9. Septbr. 1902	4^{05} p. m.	+	196,5	5,85	1,23	Schutznetz, umgerechn. auf 15 M.	Freies ebenes Feld s. von Seeshaupt
	4^{10} „		170				
	4^{10} p. m.	−	196,5	7,16			
	4^{19} „		165				
	5^{01} p. m.	+	196,5	2,14	0,74	Schutznetz, umgerechn. auf 15 M.	Teilweise oben offene Schiffhütte am See bei Seesh.
	5^{06} „		186,5				
	5^{08} p. m.	−	196,5	1,59			
	5^{13} „		189				
10. Sept. 1902	9^{38} a. m.	+	196,5	3,60	1,13	Schutznetz, umgerechn. auf 15 M.	Gemischter, lichter Wald s.w. von Seeshaupt
	9^{43} „		180				
	9^{46} a. m.	−	196,5	4,06			
	9^{51} „		178				
	10^{02} a. m.		196,5	6,68	1,74	Schutznetz, umgerechn. auf 15 M.	Ebene Wiese ca. 100 m vor d. Walde s.w. v. Seeshaupt
	10^{07} „	+	167				
	10^{10} a. m.		196,5	11,61			
	10^{15} „	−	148				

Tabelle 27 (Fortsetzung.)

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q	Bemerkung	Aufstellungsort
10. Sept. 1902	10^{35} a. m.	+	196,5			Schutznetz,	Waldlichtung v. ca.
	10^{40} „		172	5,47		umgerechn.	25 m größt. Durch-
					0,94	auf 15 M.	messer, ringsum
	10^{45} a. m.	−	196,5				hohe Fichten,
	10^{50} „		173,5	5,11			w. von Seeshaupt
	11^{23} a. m.	+	196,5			Schutznetz,	Mitten in hohem
	11^{28} „		166,5	6,79		umgerechn.	lichten Schilfe, das
					0,70	auf 15 M.	den Apparat über-
	11^{32} a. m.	−	196,5				ragt, w. v. Seeshpt.
	11^{37} „		175	4,76			
24. März 1903	4^{11} p. m.	+	214,5			Schutznetz	Dichter Wald bei
	4^{26} „		162,5	3,79			Höllriegelskreuth,
					1,10		viel Jungholz
	4^{30} p. m.	−	217				ringsum.
	4^{45} „		160	4,16			Kein Wind fühlb.
	5^{28} p. m.	+	214,5			Schutznetz,	Ebener, freier
	5^{38} „		96	16,46		umgerechn.	Acker, s. von
					1,22	auf 15 M.	Höllriegelskreuth.
	5^{42} p. m.	−	213,5				Starker W.-Wind
	5^{52} „		80	20,10			
26. März 1903	4^{11} p. m.	+	210			Schutznetz,	Dichter Wald mit
	4^{21} „		159	5,70		umgerechn.	viel Jungholz
					0,84	auf 15 M.	bei Pullach.
	4^{24} p. m.	−	214				Wind nicht fühlb.
	4^{34} „		169,5	4,77			
	Messung infolge starken Flatterns der Blättchen unmöglich					Schutznetz und Schutzdach	Freie, ebene Wiese w. von Pullach. Steifer Wind a. N.

Aus der Tabelle 27 ergibt sich ein doppelter Einfluß der größeren oder geringeren Absperrung des Beobachtungsortes auf die Elektrizitätszerstreuung. Der Ausschluß des Erdfeldes macht sich überall deutlich an dem geringen q-Werte bemerkbar. Geht jedoch die Absperrung so weit, daß auch die freie Luftzirkulation gehemmt wird, wie dies in dichten Wäldern mit viel Jungholz oder in einer Hütte der Fall ist, so sinken auch die Werte a+ und a− ganz beträchtlich. Diese Ergebnisse wurden sowohl bei Messungen mit Schutzdach, als auch bei solchen mit Schutznetz in übereinstimmender Weise gefunden.

Der Einfluß des Erdfeldes auf die unipolare Leitfähigkeit läßt sich schon erkennen, wenn nur eine schwache Deformation desselben eingetreten ist. Dies kann durch umliegende hohe Gegenstände, wie Bäume, Häuser, Felswände ꝛc. geschehen, wodurch die Niveauflächen gehoben werden, so daß nur Einbuchtungen derselben bis zum Beobachtungsort hinabreichen. Ueberhaupt entspricht der Verlauf der Niveauflächen ganz den Gesetzen der Elektrostatik, was F. Exner[1]) durch direkte Messungen des Potentialgefälles in großen Hofräumen, an Felswänden u. s. w. nachweisen konnte. Namentlich der letztere Fall ist interessant. In 5 m Abstand von einer ca. 200 m hohen und ebenso breiten Felswand, die ganz senkrecht zum St. Wolfgangssee abfällt, war überhaupt kein Potentialgefälle nachweisbar.[2]) Sicher hätte dort auch die Unipolarität der Leitfähigkeit gefehlt. Gerade diesen Einfluß des Standortes auf die unipolare Leitfähigkeit konnte ich an verschiedenen Beobachtungsorten deutlich nachweisen. Sehr gut gelang dies bei Zerstreuungsbeobachtungen, die am 7. und 8. Februar 1901 auf dem Kesselberge und dem Herzogstande vorgenommen wurden. Zu beiden Seiten der Paßhöhe des Kesselberges steigen Felswände empor, die den Apparat wohl gänzlich dem Einflusse des Erdfeldes entziehen. Die dort gefundenen q-Werte liegen, wie zu erwarten, unter 1, während

Tabelle 28.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q	Wetter	Beobachtungsort
7. Februar 1901	9^{40} a. m.	+	193	0,21	1,57	Himmel klar, strk. Bodennebel, Windstille.	Ebenes schneebedecktes Feld s von Kochel.
	9^{55} „		190				
	10^{00} a. m.	—	194	0,33			
	10^{15} „		189				
	1^{25} p. m.	+	192	1,34	0,96	Bewölkung abgenommen, schwach. NE Wd.	Paßhöhe der Kesselbergstraße, 851 m.
	1^{40} „		173				
	1^{45} p. m.	—	199	1,29			
	2^{00} „		180				
	4^{35} p. m.	+	195	0,40	1,20	Himmel völlig bedeckt, starker Nebel, schwacher NE Wind.	Freie Bergstufe vor der „mageren Alm.“
	4^{50} „		189				
	4^{55} p. m.	—	192	0,48			
	5^{10} „		185				
8. Februar 1901	10^{30} a. m.	+	200	0,26	2,34	Himmel völlig bedeckt, starker Nebel, später Schneefall.	Vor den Unterkunftshäusern d. Herzogstandes 1575 m.
	10^{45} „		196				
	10^{50} a. m.	—	194	0,61			
	11^{05} „		185				

[1]) F. Exner: Wiener Akad. Ber. 93, II a, 258, 1886.
[2]) ebenda: S. 260.

die absoluten Werte der Entladungsverluste unter dem Einflusse der während der Beobachtung eingetretenen Aufklärung des Wetters und wohl auch infolge der größeren Meereshöhe des Beobachtungsortes (851 m) nicht unbeträchtlich erhöht wurden. Das entgegengesetzte Verhalten zeigen die bei starkem Nebel auf der Höhe des Herzogstandes (1575 m) erhaltenen Werte. Tabelle 28 gibt eine Zusammenstellung der Messungen.

Daß aber schon Objekte von geringer Höhe, die sogar in größerer Entfernung den Beobachtungsort umstehen, genügen, um eine wahrnehmbare Beeinflussung der Unipolarität der atmosphärischen Leitfähigkeit zu bewirken, konnte ich in Seeshaupt feststellen. Der Zerstreuungsapparat wurde in einem Garten aufgestellt, der in ca. 10 bis 20 m Entfernung ringsum von hohen Bäumen und Gebäuden eingeschlossen war. Gleichzeitig stand ein zweites Instrument in ca. 50 m Entfernung auf einer ebenen, völlig freien Wiese. Durch wiederholten Vergleich beider Instrumente war schon früher die Beziehungskonstante zwischen denselben gefunden worden. Fand nun das ausnahmslos höhere Werte zeigende Instrument in dem geschützten Garten Aufstellung, so kehrte sich dieses Verhältnis um. Im folgenden sei eine derartige Messung vom 30. August 1901 angeführt.

Tabelle 29.

Zeit	Ladg.	Volt	a	q	Apparat
9^{30} a. m.	+	199	0,64	1,80	Nr. 785 auf freier ebener Wiese
9^{45} „		189			
9^{50} a. m.	−	204,5	1,15		
10^{05} „		186,5			
10^{15} a. m.	+	197	1,16	0,76	Nr. 785 in geschütztem Garten
10^{30} „		179,5			
10^{35} a. m.	−	199	0,88		
10^{50} „		185,5			
9^{30} a. m.	+	214	0,49	1,45	Nr. 783 in geschütztem Garten
9^{45} „		205,5			
9^{50} a. m.	−	212	0,71		
10^{05} „		200			
10^{15} a. m.	+	217	1,12	1,16	Nr. 783 auf freier ebener Wiese
10^{30} „		198			
10^{35} a. m.	−	208,5	1,30		
10^{50} „		187,5			

Zur Kontrolle wurde unmittelbar nachher die Beziehungskonstante zwischen beiden Apparaten in der S. 51 angegebenen Weise bestimmt und in guter Uebereinstimmung mit dem aus vielen Messungen erhaltenen Mittelwerte (s. S. 51) gefunden. Mit dieser Beziehungskonstanten sind die Angaben des Zerstreuungsapparates 785 auf diejenigen von Apparat 783 reduziert.

Am 7. August 1902 wurde der Brünnstein bei Oberaudorf bestiegen und auf dem Gipfel desselben (1620 m) luftelektrische Messungen vorgenommen. Leider konnte auf der Bergspitze nur eine Bestimmung des Zerstreuungskoeffizienten gemacht werden, da ein aufziehendes Gewitter zum Abstiege nach den Unterkunftshäusern zwang. Auf dem Gipfel wurden folgende Werte unter Anwendung des Schutznetzes erhalten. Die Beobachtung ist auf 15 Minuten umgerechnet.

Tabelle 30.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q
7. August 1902	11^{27} a. m.	+	196	7,87	3,17
	11^{32} „		158,5		
	11^{37} a. m.	—	194	24,9	
	11^{42} „		99		

Nach Vorübergang des Gewitters wurden vor den Unterkunftshäusern (1360 m) mehrere Bestimmungen der Elektrizitätszerstreuung vorgenommen. Der Aufstellungsort des Apparates war ringsum geschützt. Auf 2 Seiten umgaben ihn hohe Bäume, auf der dritten stand das Haus, auf der vierten stieg der Berg an. Der Hauptzweck der Beobachtung war, den Einfluß der ultravioletten Strahlung auf den geschwärzten Spannungskörper zu studieren (s. S. 38 ff.) Als Nebenresultat ergab sich die Wirkung des hier stark deformierten Erdfeldes. Da die einzelnen Messungen sehr gut mit einander übereinstimmen, so seien hier nur zwei zusammengehörige angeführt. Bei der 1. Beobachtung wurden, zum Abschirmen der ultravioletten Strahlen zwei durch einen Falz miteinander verbundene, rechtwinkelig zu einander stehende Glasplatten über das Schutznetz gelegt. Die eine bedeckte oben das Netz völlig, die andere berührte es längs einer Mantellinie. Dadurch wurde eine teilweise Hinderung der freien Luftzirkulation bewirkt, die sich, wie Tab. 31 zeigt, sogleich in einer Verminderung der Zerstreuungswerte geltend macht. Während der Beobachtung herrschte klares Wetter mit schwachem W.-Winde.

Tabelle 31.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q
7. August 1902	5^{10} p. m.	+	194	4,46	
	5^{15} „		172		1,00
	5^{17} p. m.	−	194	3,46	
	5^{22} „		172		
	5^{23} p. m.	−	194	8,79	
	5^{28} „		153		1,12
	5^{31} p. m.	+	194	7,84	
	5^{36} „		157		

Nach diesen Beobachtungen wurde eine weitere ca. 100 m unter dem Brünsteinhaus auf einer freien unbewachsenen Bergstufe angestellt, die nachstehende Werte ergab:

Tabelle 32.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	a	q
7. August 1902	5^{55} p. m.	+	194	7,48	
	6^{00} „		158,5		3,92
	6^{05} p. m.	−	194	29,3	
	6^{10} „		88		

Vergleicht man die an den exponierten Bergstellen gemessenen q-Werte (Tab. 30 und Tab. 32) mit den an geschütztem Platze in nahezu derselben Meereshöhe beobachteten (Tab. 31), so erkennt man auch hier wieder deutlich den Einfluß des Erdfeldes auf die Unipolarität der atmosphärischen Leitfähigkeit. Ganz in Uebereinstimmung mit der S. 70 gegebenen Auffassung über das Zustandekommen der unipolaren Leitfähigkeit finden sich auf kahlen Bergspitzen die größten q-Werte (vergleiche auch Tab. 11.)

Fassen wir die in diesem Abschnitte angeführten Beobachtungen zusammen, so läßt sich daraus eine weitere nicht unwichtige Forderung für luftelektrische Messungen ableiten: Der Zerstreuungsapparat soll auf ebenem freien Felde, fern von größeren Ortschaften aufgestellt werden, so daß keine umliegenden hohen Objekte die freie Luftzirkulation stören oder das elektrische Erdfeld deformieren. Eine Reduktion der Beobachtungswerte bei anderer Aufstellung des Apparates auf den freien ebenen Platz, wie dies

bei Potentialmessungen möglich ist, erscheint mir bei Zerstreuungsmessungen nicht ratsam. Diese Vorsichtsmaßregeln decken sich also ganz mit denen, die F. Exner[1]) neuerdings nachdrücklich für Potentialmessungen empfohlen hat.

3) Einfluß des Taues auf die unipolare Leitfähigkeit der Luft.

Zu den interessantesten Erscheinungen, die ich während meiner Messungen beobachten konnte, gehört die Einwirkung des Taues auf die Unipolarität der atmosphärischen Leitfähigkeit, weil sie besonders deutlich die Fruchtbarkeit der Anwendung der Lehre von den Gasionen auf die luftelektrischen Probleme erweist. Bei Taubildung werden −Ionen ausgefällt; die Unipolarität $q = \frac{a-}{a+}$ steigt weit über den normalen Betrag an.

Aus der Gasionentheorie der atmosphärischen Elektrizität ergibt sich die Forderung, daß unipolare Leitfähigkeit der Luft und Potentialgefälle in ursächlichem Zusammenhange stehen müssen.[2]) Hienach muß im allgemeinen einer ausgeprägten Unipolarität ein hohes Potentialgefälle entsprechen und umgekehrt. Gleichzeitige Messungen der Elektrizitätszerstreuung und des Potentialgefälles, wie sie A. Gockel[3]) ausführte, haben dies in der Tat bewiesen. Es müssen daher bei Taubildung auch hohe Potentialwerte auftreten. Diese Einwirkung des Taues entging schon den ältesten Beobachtern der atmosphärischen Elektrizität, wie Saussure, Schübler und Große[4]) nicht. Sie fanden, daß das Maximum der Luftelektrizität mit der Bildung starken Taues zusammenfällt. Demgemäß ist ein Maximum nach Sonnenuntergang und ein zweites bei Sonnenaufgang zu erwarten. Diese Wahrnehmung wurde durch alle neueren Beobachtungen bestätigt. So fand namentlich F. Exner,[5]) daß nach Morgennebeln im Herbste außerordentlich hohe Potentialgradienten auftreten. Nach der Jonentheorie müßte an solchen Herbstmorgen eine markierte Unipolarität der atmosphärischen Leitfähigkeit auftreten. Dies

---

[1]) F. Exner: „Denkschrift der Kommission für luftelektr. Forschungen." München 1903, S. 40.
[2]) H. Ebert: Meteorol. Zeitschrift 18; 293; 1901 und Physikal. Zeitschr. 2; 664; 1901.
[3]) A. Gockel: „Veröffentl. d. Univ. Freiburg (Schweiz) 4; 17, 25 u. 39; 1902.
[4]) F. Exner: Wiener Akad. Ber. 93, IIa; 238; 1886.
[5]) Derselbe: Wiener Akad. Ber. 96, IIa; 468; 1887.

hat sich denn auch in der Tat gezeigt. Kurz nach dem Niedersinken der Morgennebel wurden stets außerordentlich hohe q-Werte gemessen. Es sei noch besonders erwähnt, daß die besprochene Erscheinung mit großer Regelmäßigkeit eintraf. Sie war immer zu beobachten, wenn Tau den Beobachtungsort bedeckte (morgens) und war besonders stark beim Einfall des Taues (abends), blieb dagegen aus, wenn der Tau fehlte (an bewölkten Tagen.)

In nachstehender Tabelle 33 findet sich eine Zusammenstellung der darüber angestellten Beobachtungen. Ich führe sie erst von dem Tage ab an, an dem ich auf diese Erscheinung aufmerksam wurde und sie als eine Folge des Taues erkannte, über dessen Eintreten und Stärke ich dann genaue Eintragungen in das Beobachtungsjournal machte.

Tabelle 33.

Datum	Zeit	Ladung	Volt	a	q	Bemerkung	Wetter
6. Sept. 1901	9^{15} a. m.	+	202	0,83	2,72	Schutzdach.	Einzelne Cirruswolken, starker Tau.
	9^{30} „		189				
	9^{35} a. m.	−	201,5	2,25			
	9^{50} „		168,5				
16. Sept. 1901	6^{35} p. m.	+	203	0,56	2,16	Schutzdach, umgerechnet a. 15 M.	Wolkenlos, Sonne eben untergegangen, starker Taufall.
	6^{45} „		197				
	6^{50} p. m.	−	201,5	1,21			
	7^{00} „		189				
17. Sept. 1901	8^{30} a. m.	−	203	2,53	2,41	Schutzdach.	Wolkenlos, starker Tau.
	8^{45} „		166				
	8^{50} a. m.	+	205,5	1,05			
	9^{05} „		189				
	7^{05} p. m.	+	207,5	0,36	4,15	Schutzdach.	Rasche Auflösung der Bewölkung, zunehmender Tau.
	7^{20} „		201,5				
	7^{25} p. m.	−	188	1,49			
	7^{40} „		167				
19. Sept. 1901	8^{00} a. m.	+	199	0,64	1,97	Schutzdach.	Wolkenlos, mäßiger Tau.
	8^{15} „		189				
	8^{20} a. m.	−	204,5	1,26			
	8^{35} „		185				

Tabelle 33 (Fortsetzung.)

Datum	Zeit	Ladung	Volt	a	q	Bemerkung	Wetter
20. Sept. 1901	8^{45} a. m.	+	206	0,62	3,04	Schutzdach.	Morgennebel zu Boden gesunken, wolkenlos.
	9^{00} „		196				
	9^{05} a. m.	—	205	1,88			
	9^{20} „		176,5				
	6^{25} p. m.	+	199,5	1,02	1,87	Schutzdach, umgerechnet a. 15 M.	Wolkenlos. Sonne eben untergegangen, beginnender Taufall.
	6^{35} „		189				
	6^{40} p. m.	—	197	1,91			
	6^{50} „		178				
24. Sept. 1901	9^{05} a. m.	+	207	0,59	2,07	Schutzdach.	Einzelne Cirruswolken, mäßiger Tau.
	9^{20} „		197,5				
	9^{25} a. m.	—	205	1,22			
	9^{40} „		186				
5. Oktobr. 1901	7^{15} p. m.	+	199,5	1,25	1,78	Schutzdach.	Wolkenlos, beginnender Taufall, Nacht.
	7^{30} „		180,5				
	7^{35} p. m.	—	198	2,22			
	7^{50} „		166				
15. Oktbr. 1901	8^{45} a. m.	+	198,5	0,37	3,22	Schutzdach.	Morgennebel zu Boden gesunken, Bäume tropfen, wolkenlos.
	9^{00} „		193,5				
	9^{05} a. m.	—	199	1,19			
	9^{20} „		181				
	7^{00} p. m.	+	199	0,45	3,69	Schutzdach.	Sehr starker Tau, wolkenlos, Nacht.
	7^{15} „		192				
	7^{20} p. m.	—	201,5	1,66			
	7^{35} „		176,5				
9. Sept. 1902	8^{53} a. m.	+	196,5	4,06	2,04	Schutznetz, umgerechnet a. 15 M.	Morgennebel zu Boden gesunken, wolkenlos.
	8^{58} „		178				
	9^{01} a. m.	—	196,5	8,30			
	9^{06} „		160,5				
	7^{03} p. m.	+	196,5	9,21	1,87	Schutznetz, umgerechnet a. 15 M.	Sonne eben untergegangen, wolkenlos, beginnender Taufall.
	7^{08} „		157				
	7^{11} p. m.	—	196,5	17,25			
	7^{16} „		129				
10. Sept. 1902	8^{47} a. m.	—	196,5	13,61	1,84	Schutznetz, umgerechnet a. 5 M.	Einzelne Wölkchen, mäßiger Tau.
	8^{52} „		141				
	8^{55} a. m.	+	196,5	7,42			
	9^{02} „		164				

Vergleicht man die hier angeführten Werte mit den normalen (Tab. 19, so zeigt sich, daß die mittlere Zahl der +Jonen nahezu ungeändert ist und daß die außerordentlich hohen Werte für q durch eine Verminderung der —Jonen zu stande kommt. Am deutlichsten tritt dies hervor durch eine Zusammenstellung der normalen Werte aus Tab. 19 mit den Mittelwerten für September 1901 aus Tab. 33, für welchen Monat die meisten Beobachtungen bei Taufall vorliegen.

Tabelle 33 a.

Mittelwerte	a+	a—	q
Monatsmittel für September	1,12	1,74	1,55
Mittelwerte für September bei Tau	0,71	1,72	2,58

Manchmal scheint auch ein Steigen der Entladung bei —Vorzeichen einzutreten, was sich vielleicht aus den Beobachtungen Homén's [1]) erklären läßt, daß bei starkem Taufall höhere Luftschichten herabsinken. Tatsächlich wurde der größte Wert von q = 4,15 an einem Abend beobachtet, wo unter rascher Auflösung der Bewölkung der Tau schnell und reichlich einzufallen begann. In diesem Falle summieren sich offenbar 2 Wirkungen, die des Taues und die absteigender Luftströme.

Durch die Wirkung des Taues wird der unipolaren Leitfähigkeit der Luft an heiteren Tagen in Seeshaupt eine ausgesprochene Periode aufgeprägt. Sie erreicht morgens vor 9 Uhr und abends nach Sonnenuntergang ein Maximum, ganz ähnlich, wie das Potentialgefälle an den meisten Orten. Es wurde versucht, den Verlauf dieser Periode während eines ganzen Tages festzustellen. Zu dem Zwecke stellte ich an zahlreichen heiteren Tagen möglichst viele Messungen der Elektrizitätszerstreuung an. Nicht alle Beobachtungstage, die am Morgen heiteres Wetter hatten, blieben bis Sonnenuntergang unbewölkt, so daß nur 10 Tage mit wolkenlosem oder nur vorübergehend wenig bewölktem Himmel zur Darstellung des täglichen Ganges von q bleiben. Die Ergebnisse der einzelnen Messungen sind in Tab. 34 niedergelegt. Bildet man für die angeführten Beobachtungsstunden die Mittelwerte für q, so läßt eine graphische Darstellung den täglichen Gang sofort erkennen (s. Tafel zu Tab. 34). Vor 9 Uhr morgens erreicht die unipolare Leitfähigkeit ein ausgeprägtes Maximum, sinkt dann zu

[1]) J. Hann: „Lehrbuch der Meteorologie" Leipzig 1901, S. 248.

Tabelle 34.

Datum	8h—9h			9h—10h			11h—12h			2h—3h			3h—4h			5h—6h		
	a+	a−	q	a+	a−	q	a+	a−	q	a+	a−	q	a+	a−	q	a+	a−	q
9. Juli 1901				0,83	1,53	1,75	0,81	0,95	1,17	0,24	0,23	0,96	0,55	1,02	1,85			
11. Juli 1901				0,84	1,14	1,36	1,13	1,32	1,17				0,88	1,32	1,50			
17. Juli 1901	0,58	1,52	2,62	1,04	1,54	1,48	0,88	1,18	1,34									
18. Juli 1901	0,91	1,18	1,30	0,97	1,32	1,36	0,64	0,88	1,37							0,43	0,96	2,23
8. August 1901				0,51	0,87	1,70				0,81	1,62	1,99						
9. August 1901	0,94	1,15	1,22	0,57	0,84	1,47	0,74	0,92	1,24	1,80	1,72	0,96						
10. August 1901				1,45	1,82	1,25	1,61	1,48	0,92	0,92	1,61	1,75				0,97	1,61	1,66
17. September 01	1,05	2,53	2,41				1,17	0,76	0,65	0,89	1,67	1,88	1,84	3,31	1,80	1,35	2,31	1,71
20. September 01	0,62	1,88	3,04				0,71	0,62	0,87				0,56	1,73	3,09			
15. Oktober 1901	0,37	1,19	3,22				0,60	0,91	1,52				0,84	1,98	2,36	0,65	1,35	2,08
Mittelwerte	0,74	1,58	2,14	0,89	1,29	1,42	0,92	1,00	1,08	0,93	1,37	1,48	0,93	1,87	2,02	0,86	1,56	1,84
Mittel aus a+ u. a−	1,16			1,09			0,96			1,15			1,40			1,20		

einem Minimum zwischen 11 Uhr und 12 Uhr herab, um sich in den ersten Nachmittagsstunden, zwischen 3 Uhr und 4 Uhr zu einem zweiten Maximum zu erheben. Von da ab nehmen die q-Werte wieder stetig ab. Nur nach Sonnenuntergang tritt eine Unterbrechung ein, indem sie durch die Tauwirkung zu einem dritten unvermittelten (Sprung-)Maximum emporgerissen werden, um gleich wieder zu sinken. Nachts herrschen normale Werte, die gegen Morgen, wahrscheinlich schon bald nach Sonnenaufgang, dem oben erwähnten Maximum wieder zustreben.[1])

Auch der Zerstreuungskoeffizient (Mittel aus a+ und a−) zeigt einen charakteristischen Gang. Dieser Wert steigt vormittags hindurch langsam und erreicht bald nach Mittag sein erstes und einziges Tagesmaximum und fällt dann gegen Abend mehr und mehr ab. Diese Periode ist schon seit den ersten Messungen[2]) bekannt und wurde seither von allen Beobachtern bestätigt. Aus der Kurve der Zerstreuungswerte läßt sich aber noch mehr entnehmen. Es zeigt sich nämlich, daß sie nach einem Minimum zwischen 6 Uhr und 7 Uhr (vor Sonnenuntergang) mit einbrechender

[1]) Vergleiche damit den von der Mehrzahl der Beobachter gefundenen täglichen Gang des Potentialgefälles; F. Exner: Wiener Akad. Ber. 93 IIa; 237; 1886.

[2]) C. Linß: Meteorol. Zeitschr. 4; 352; 1887.

Tabelle 34.

6 h—7 h			7 h—8 h			Nachtzeit				Wetter am Beobachtungsorte
a_+	a_-	q	a_+	a_-	q	a_+	a_-	q	Stunde	
0,56	0,91	1,63	0,32	0,58	1,80					Wolkenlos, Windstille, Gebirge klar.
0,75	1,14	1,52								Vorübergehend einzelne Kumuluswolken, Wind mäßig NE, Gebirge klar.
0,58	0,77	1,33	0,58	1,01	1.80					Wolkenlos, Wind schwach NE, Gebirge verschleiert.
0,33	0,61	1,85	0,48	0,86	1,79					Wolkenlos, Wind ganz schwach NE, Gebirge völlig verschleiert.
0,37	0,69	1,87				1,52	2,06	1,36	9 h p.m. —10 h p.m.	Vorübergehend einzelne Kumuluswolken, schwacher NE, Gebirge verschleiert.
0,89	1,22	1,37	0,77	1,42	1,84					Wolkenlos, Wind ganz schwach NE, Gebirge klar.
			0,78	0,92	1,18					Wolkenlos, Windstille, Gebirge klar.
			0,36	1,49	4,15					Cirruswolken, vorübergehende Bewölkung, Windstille, Gebirge außerordentlich klar (Föhnlage nach Wetterkarte).
1,02	1,91	1,87	1,28	2,16	1,69	1,99	2,30	1,16	12 h m. —1 h p. m.	Wolkenlos, Windstille, Gebirge verschleiert.
			0,45	1,66	3,69	0,99	1,53	1,55	1 h p. m. —2 h p.m.	Wolkenlos, Wind schwach N u. NW, Gebirge verschleiert.
0,64	1,04	1,63	0,63	1,27	2,02	1,50	1,96	1,31	9 h p. m. —2 h p.m.	
	0,84			0,95			1,73			

Nacht wieder ansteigt und offenbar einem zweiten Maximum zustrebt. In der Tat hat H. Nilson [1]) in Upsala bei Messungen der Elektrizitätszerstreuung mit dem Elster-Geitel'schen und dem Ebert'schen Apparate im April und Mai 1902 ein ausgesprochenes Maximum um Mitternacht gefunden. Ganz ähnliche Beobachtungen wurden in jüngster Zeit auch in Kremsmünster gemacht. [2]) Auch nach der Messung vom 20. September 1901 (s. Tab. 34) fiel das Maximum der Zerstreuung auf Mitternacht.

Es liegt nahe, diese Zunahme der atmosphärischen Leitfähigkeit nach Sonnenuntergang mit dem Aufsteigen der Bodenluft (Erddampf), [3]) die nach den neuesten Beobachtungen eine starke radioaktivierende Emanation mitführt [4]) in Zusammenhang zu bringen.

Die vorstehenden Ergebnisse befinden sich auch in guter Uebereinstimmung mit den Beobachtungen A. Gockels und E. v.

---

[1]) H. Nilson: Oefersigt of K. Vetensk. Akad. Förh. Arg. 59; 243; 1902.

[2]) P. F. Schwab: Wiener Akad. Ber. 112, IIa; 343; 1903 u. B. Zölß, ebenda 112, IIa; 34; 1903.

[3]) J. Hann: „Lehrbuch der Meteorologie" Leipzig 1901, S. 248.

[4]) J. Elster u. H. Geitel: Physikal. Zeitschr. 3; 574; 1902 und H. Ebert u. P. Ewers: ebenda 4; 162; 1902 und H. Ebert: Sitzungsbericht der k. bayer. Akad. d. Wissensch. 33; 133; 1903.

Schweidlers[1]) in Mattsee bei Salzburg. In Biskra und Tougourt fand A. Gockel[2]) denselben ausgeprägten täglichen Gang der Elektrizitätszerstreuung wie ich in Seeshaupt. Insbesondere zeigte sich auch dort ein auffallendes Sinken kurz vor Sonnenuntergang. In Freiburg, in Zermatt, in Biscra, Tougourt[3]) und auf dem Brienzer Rothorn[4]) beobachtete A. Gockel Höchstwerte der unipolaren Leitfähigkeit am Abend, die dadurch zu stande kamen, daß die + Zerstreuung fast auf Null fiel. Dadurch stieg einmal der Wert q in Tougourt auf 9,0.

Ich möchte auf grund meiner Beobachtungen annehmen, daß es das Wasser in feinster Verteilung ist, welches diese Verschiebung der gleichmäßigen Verteilung beider Jonenarten bewirkt. A. Wilson[5]) hat gezeigt, daß die —Jonen eher als Kondensationskerne bei Nebelbildung dienen, als die +. Diese Tatsache erklärt sofort die Erscheinung, daß nach Sinken eines leichten Bodennebels außerordentlich hohe Werte der unipolaren Leitfähigkeit auftreten und zwar deshalb, weil zahlreiche —Jonen durch angelagerte Wassertröpfchen mit zur Erde gezogen werden. Aber auch die Wirkung des Taues läßt sich in ähnlicher Weise erklären. Man kann sich vorstellen, daß beim Einfallen des Taues sich einzelne Wassermoleküle an die —Jonen heften und sie durch den beträchtlichen Zuwachs an Masse zu Boden ziehen.

Diese Wirkung des Taues dürfte ein Beweis für die Annahme Elster u. Geitels[6]) sein, die durch eine Anlagerung von Wasser Molekülen an die Jonen (schon vor der eigentlich sichtbaren Nebelbildung) und die hiedurch bewirkte Verminderung ihrer Wanderungsgeschwindigkeit die Abnahme des Leitvermögens der Luft mit wachsender relativer Feuchtigkeit erklären.

Die Erscheinung, daß sinkender Bodennebel — Jonen ausfällt, scheint mir auch noch in anderer Beziehung nicht ohne Bedeutung zu sein. Sie zeigt, daß eine Trennung der + und —Jonen durch Kondensation des Wasserdampfes in der Natur tatsächlich vorkommt, was die Voraussetzung einer schon von Linß[7]) angedeuteten und von V. Conrad[8]) rechnerisch weiter verfolgten Gewitter theorie bildet.

---

[1]) E. v. Schweidler: Wiener Akad. Ber. 111, IIa; 1463; 1902.
[2]) A. Gockel: Physikal. Zeitschr. 3; 208; 1902.
[3]) Derselbe: Veröffent. d. Univ. Freiburg (Schw.) 4, 17, 22, 31 u. 36, 1902.
[4]) Derselbe: Physikal. Zeitschr. 4; 268; 1903.
[5]) A. Wilson: Cambridge Phil. Soc. Proc. 9; 333; 1897 und: Phil. Trans. London 189, 265, 1897 und: 192, 403, 1899.
[6]) J. Elster u. H. Geitel: Wiener Akad. Ber. 111, IIa, 964, 1902.
[7]) E. Linß: Meteorol. Zeitschr. 4, 356, 1887.
[8]) V. Conrad: Wiener Akad. Ber. 111, IIa, 342, 1902.

4) Einfluß größerer Wassermassen auf die unipolare Leitfähigkeit.

Auch in Form großer, zusammenhängender Massen, wie sie in Seen, Teichen und Flüssen auftreten, kann das Wasser die Leitfähigkeit der Luft beeinflußen. Die Messungen der Elektrizitätszerstreuung an Seen und an völlig stillstehenden Wassertümpeln ausgedehnter Sümpfe ergaben zumeist außerordentlich hohe Werte für die unipolare Leitfähigkeit. Der Standort des Apparates muß aber dabei zwei wesentlichen Erfordernissen genügen: 1) Das Ufer soll flach sein und der Apparat darf nicht von nahgelegenen hohen Gegenständen überragt werden. 2) Der Wind darf während der Messung nicht vom Lande nach dem Wasser hin wehen. Infolge der Merkwürdigkeit dieser Erscheinung führe ich das gesamte Beobachtungsmaterial in gedrängter Form an.

Aus Tabelle 35 ist ersichtlich, daß die großen q Werte (in der Tabelle fett gedruckt) am Wasser regelmäßig eintreten, wenn die Wind- und Uferverhältnisse (gesperrter Druck) den eingangs erwähnten Bedingungen genügen. Dies war z. B. der Fall am 8., 20., 28. und 30. August, am 6. und 17. September, am 14. Oktober 1901, am 5., 7., 9. September 1902 und am 24. März 1903. Ueber der Wasserfläche selbst scheinen sie niedriger zu sein, wie die Messungen im Kahn am 8. August 1901 und am 7. September 1902 zeigen. Allerdings muß bemerkt werden, daß solche Messungen nur bei Windstille oder ganz schwachem Winde vorgenommen werden können, so daß nicht das geringste Schwanken des Kahns eintritt.

Bei Landwind und an bewachsenen Uferstellen bleibt die erwähnte Erscheinung ganz aus, siehe 6. September, 30. August 1901, 5., 9. und 10. September 1902.

Dieser Einfluß des Wassers auf die unipolare Leitfähigkeit der Luft ergibt sich auch aus dem Material anderer Beobachter, wenn auch diese nicht besonders darauf hinwiesen. So hat z. B. W. Caspari[1]) in Brienz auf freier Mole ca. 25 m im See q-Werte von 2,02 und 2,32 gemessen, während er im Kahn nur $q = 1{,}55$ bekam und dicht am See, aber unter Bäumen gar nur $q = 0{,}51$. Ebenso fanden, ganz entsprechend meinen Beobachtungen E. v. Schweidler[2]) am Mattsee an einer von Schilf bestandenen Uferstelle keine überhöhten q-Werte und J. Elster und H. Geitel[3]) auf den freien schmalen Wasserstraßen N.W.-Spitzbergens außerordentliche hohe Werte für die Unipolarität q.

---

[1]) W. Caspari: Phys. Zeitschr. 3, 522, 1902.
[2]) E. v. Schweidler: Wiener Akad. Ber. 111, IIa, 1475, 1902.
[3]) J. Elster u. H. Geitel: ebenda 978.

Tabelle 35.

Datum	Zeit	a+	a−	q	Bemerkung	Wetter	Beobachtungsort
8. August 1901	3³⁰—4⁰⁵ p. m.	0,44	1 29	2,94	Schutzdach	Vereinzelte Kumuluswolken; leiser NE-Wind über den See her.	Flaches Seeufer i. ein. Gart. Seeshpts.
	4²⁶—5⁰¹ „	0,88	1,51	1,72	„		Im Kahn ca. 100 m seewärts.
	5²⁰—5⁵⁵ „	0,44	1,42	3,23	„		An derselben Uferstelle wie oben.
	6¹⁰—6⁴⁵ „	0,37	0,69	1,87	„		Freie, ebene Wiese in Seeshaupt (Gewöhnlicher Beobachtungsort.)
20. August 1901	9⁰⁰—9³⁵ a. m.	1,20	1,55	1,29	Schutzdach	Einzelne weiße Wölkchen, schwacher W-Wind.	Gewöhnlicher Beobachtungsort.
	10¹⁵—10⁵⁰ „	1,29	2,04	1,58	„		s von Seeshaupt auf d. Hügel vor den Sümpfen der „Gartenseen."
	11⁰⁵—11⁴⁰ „	0,47	1,00	2,13	„	Bewölkung zugenommen, Wind über den See her.	Mitten im Sumpfe am Rande der „Gartenseen."
28. August 1901	9⁴⁵—10²⁰ p. m.	0,58	0,71	1,22	Schutzdach	Dreiviertel bewölkt, schwacher W-Wind.	Gewöhnlicher Beobachtungsort.
	10⁵⁰—11²⁵ „	1,03	3,79	3,68	„	Wechselnde Bewölkung, frischer W von den Seen her.	Hügel vor den „Gartenseen."
	11⁵⁰—12²⁵ „	1,16	2,88	2,48	„	Bewölkung zugenommen, W-Wind schwächer.	Am Rande der „Gartenseen."
30. August 1901	11³⁰—12⁰⁵ p. m.	1,22	2,18	1,79	Schutzdach	Einzelne Kumulus- u. Cirruswolken; mäßiger W-Wind.	Freie, ebene Wiese s von Seeshaupt.
	5²⁰—5⁵⁵ „	0,41	1,53	3,73	„	Cirruswolken, Windstille.	Freie ebene Wiese am S-Ende des Sees, ca. 50 m vom Ufer entfernt.
	6⁰⁵—6⁴⁰ „	0,99	1,70	1,72	„	Stratuswolken, Wind ganz schwach vom See her.	Hart am Ufer, Apparat von Weidengebüsch überragt.
6. Septbr. 1901	10⁴⁰—11¹⁵ a. m.	1,03	2,88	2,80	Schutzdach	Zunehmende Bewölkung, frischer S-W.	Hügel vor den Gartenseen.
	11²⁵—12⁰⁰ m.	1,14	1,63	1,43	„	dreiviertel bewölkt, Wind frisch aus SW.	Mitten im Sumpfe ringsum kleine Wassertümpel.
17. Septbr. 1901	3⁴⁰—4¹⁵ p. m.	1,84	3,31	1,80	Schutzdach	Zunehmende Bewölkung, schwacher SW Föhnlage.	Freie Wiese s von Seeshaupt.
	4⁴⁰—5¹⁵ „	0,56	1,32	2,36	„	Bewölkt, Windstille.	Am S-Ende des Sees an einer von Gebüschen freien Stelle.
	5⁴⁵—6²⁰ „	1,35	2,31	1,71	„	Völlig bedeckt, Windstille.	Wieder auf freier Wiese s v. Seeshaupt.

Tabelle 35 (Fortsetzung 1.)

Datum	Zeit	a+	a—	q	Bemerkung	Wetter	Beobachtungsort
14. Oktober 1901	3^{30}—4^{05} p. m.	0,78	1,52	1,95	Schutzdach	Wolkenlos, schwacher N-Wind.	Freie Wiese s von Seeshaupt.
	4^{20}—4^{55} „	0,49	1,95	3,98	„	Windstille.	Am Rande der Gartenseen.
	5^{05}—5^{40} „	1,78	3,07	1,73	„	Wolkenlos, schwacher NE-Wind.	Hügel vor den Gartenseen.
5. Septbr. 1902	8^{39}—8^{52} a. m.	11,21	13,02	1,16	Schutznetz, ungerechnet auf 15 Min.	Einzelne Stratuswolken frischer W.	Freie Wiese s von Seeshaupt.
	9^{10}—9^{24} „	5,95	8,42	1,41		Einzelne Cirruswolken, Wind vom Lande her.	Am Ende eines 6 m Steges, rings Weidengebüsch.
	9^{31}—9^{45} „	5,11	6,43	1,26	„		Am Ufer rings Bäume und Weidenbüsche.
	3^{14}—3^{25} „	4,57	7,17	1,57	„	Einzelne Kumuluswolken, Wind schwach über den See.	Uferstelle in Seeshaupt: einzelne hohe Bäume.
	3^{31}—3^{44} p. m.	2,04	5,12	2,51	„	Einzelne Kumuluswolken, Wind schwach über den See her.	An derselben Uferstelle ca. 3 m vom Wasser entfernt auf kleinem Hügel.
	3^{56}—4^{08} „	3,69	5,43	1,47	„	Zunehmende Bewölkung.	Freie ebene Wiese ca. 300 m landeinwärts.
	4^{24}—4^{37} „	4,28	4,87	1,14	„	Halb bedeckt.	Freie ebene Wiese s von Seeshaupt.
7. Septbr. 1902	11^{03}—11^{17} a. m.	1,08	3,38	3,13	„	Kumuluswolken, Wind schwach über den See her.	Freies Ufer in Seeshaupt.
	11^{27}—11^{41} „	3,04	6,12	2,01	„		Im Kahn ca. 200 m seewärts.
	11^{51}—12^{05} p. m.	3,14	5,24	1,67	„	Windstille.	Im Kahn ca. 300 m seewärts.
9. Septbr. 1902	2^{09}—2^{23} „	9,67	15,21	1,58	„	Wolkenlos, schwacher N-Wind.	Freie Wiese s von Seeshaupt.
	2^{35}—2^{53} „	13,61	14,33	1,05	„	Frischer N-Wind.	Hügel vor den Gartenseen.
	3^{03}—3^{13} „	8,18	10,39	1,27	„	Wind abgehalten durch den Hügelzug.	Am Rande der Gartenseen.
	3^{33}—3^{46} „	4,17	5,83	1,40	„	Wind schwach über den Sumpf her.	Am gegenüberliegenden Ufer der Gartenseen, ringsum hohes Schilf, das den Apparat überragt.
	4^{05}—4^{19} „	5,85	7,16	1,23	„	Wind schwach NE.	Freie ebene Wiese.
	4^{43}—4^{45} „	3,60	8,43	2,34	„	Schwacher N über den See her.	Flaches Ufer in Seeshaupt.

Tab. 35 (Fortsetzung 2).

Datum	Zeit	a+	a−	q	Bemerkung	Wetter	Beobachtungsort
10. Septbr. 1902	1002—1045 a. m.	6,68	11,61	1,74	Schutznetz, umgerechnet auf 15 Min.	Wolkenlos, Wind schwach aus N. Wind abgehalten.	Freie Wiese sw von Seehaupt.
	1035—1050 „	5,47	5,11	0,94			Waldlichtung am Ufer des Frechensees w von Seehaupt.
	1123—1137 „	6,79	4,76	0,70	„		Am Ufer des Frechensees mitten in hohem Schilfe, das den Apparat überragt.
24. März 1903	528—552 p. m.	16,46	20,10	1,22	„	Wolkenlos. steifer W-Wind. Wind über den Fluß her. Sonne eben untergegangen.	Ebener freier Acker s von Höllriegelstreuth.
	623—645 „	1,91	7,27	3,58	„		Direkt am Ufer der Isar bei Höllriegelstreuth

Wenn sich auch diese Erscheinung nach den vorliegenden Beobachtungen noch nicht erklären läßt, so kann man sie doch in Zusammenhang bringen mit der von A. Schmauß [1]) beobachteten Einwirkung des Wassers auf die Leitfähigkeit der Luft. Hienach nimmt Wasser, wenn es in Form von Strahlen die Luft durchfällt — Ionen auf, wodurch diese sich nachher mit einem Ueberschuß + Ionen beladen erweist.

Es ist nicht unwahrscheinlich, daß auch Wasser in zusammenhängender Form der darüber lagernden Luft — Ionen entzieht und so durch Herabdrückung des a+ die Veranlassung zu den großen q-Werten gibt, ganz, wie nach dem Beobachtungsmaterial tatsächlich die ausgeprägte Unipolarität zu stande kommt.

---

[1]) A. Schmauß: Annalen d. Phys. 9, 224, 1902.

c) Beobachtungen im Freiballon.

Schon eingangs wurde erwähnt, daß nur wirkliche Messungen des Elektrizitätsgehaltes höherer Luftschichten ein richtiges Urteil über alle jene Probleme gewinnen lassen, die eine Ausnützung des dort oben zu erwartenden Elektrizitätsreichtums bezwecken. Es war mir daher hoch willkommen, selbst an einer Ballonfreifahrt zum Zwecke luftelektrischer Messungen unter der bewährten Führung des Freiherrn v. Bassus teilnehmen zu dürfen.

Schon am Tage vor der Fahrt wurde die beste Montierung der mitzunehmenden elektrischen Instrumente, Aspirationsapparat, Elster-Geitel'scher Zerstreuungsapparat und Potentialmeßapparat an der aufgehängten Ballongondel ausprobiert. Der Zerstreuungsapparat mit Schutzdach fand in der von H. Ebert[1]) angegebenen Weise auf einem Tischchen außerhalb einer Gondelwand Aufstellung. Der Aspirationsapparat wurde an der gegenüberliegenden Gondelseite an zwei Seilen des Netzwerkes in Augenhöhe aufgehängt. An der zwischen diesen beiden Instrumenten liegenden Korbwand wurde der von H. Ebert[2]) konstruierte Potentialmeßapparat befestigt. Die beiden gut amalgamierten Zinkplatten desselben hingen an dünnen Kupferdrähten 16 bezw. 10 m über den Gondelrand herab. Ihr vertikaler Abstand betrug also konstant 6 m. Der längere Draht war am Elektroskopgehäuse, der kürzere am Blättchenhalter befestigt. Diese Anordnung der Apparate hat sich während der Fahrt bestens bewährt. Zur Ablesung der drei Elektroskope brauchte der Beobachter nur eine ganz engbegrenzte Bewegung längs der einen Korbwand auszuführen, so daß dem Ballonführer der weitaus größte Teil der Gondel zu ungehinderter Hantierung freistand.

Am 5. Dezember 1902, dem Tage vor der Fahrt, herrschte, nach Angabe der Wetterkarte, folgende allgemeine Wetterlage. Ueber dem südlichen Schweden lagerte ein Kern eines barometrischen Maximums. Vom Golfe von Genua südostwärts bis zum Jonischen Meere breitete sich ein Depressionszentrum von weniger als 752 mm Druck aus. Zwischen barometrischem Maximum und Depressionszentrum bestanden große Luftdruckgradienten, die gegen den vorhergehenden Tag noch steiler geworden waren. Das Wetter war meistenorts trübe oder nebelig mit stellenweisen Schneefällen. Nur Passau und die alpinen Hochstationen von mehr als 1800 m Seehöhe meldeten heiteren Himmel. Die Temperaturen waren sehr tief. München hatte bei bedecktem Himmel und 766 mm Luftdruck -8° C.

---

[1]) H. Ebert: Sitzungsber. d. k. bayer. Akad. d. Wissensch. Math. phys. Kl. 31, 35, 1901.

[2]) Derselbe: Gerlands Beiträge zur Geophysik 4, 81, 1903.

Tabelle 36.

Zeit	Zerstreuungs-Apparat				Aspirations-Apparat				Potentialmeß-Apparat		
	Lad.	Volt	a	q	Lad.	Volt	E.st.E in m^3	q [1])	Zeit	Volt	Volt pr. m.
10^{32} a. m.											
11^{08} „	+	209,5			+	202	—				
11^{13} „		203,5	1,19			199,5	0,25				
11^{23} „		181	2,40			192,5	0,35				
			2,00				0,32		11^{30} a. m.	114	19,0
11^{30} „	—	206,5			—	198,5	+		11^{34} „ *)	222	37,0
11^{38} „		196,5	1,27			194	0,28		11^{38} „	191	31,8
11^{43} „		187,5	1,92			193,5	0,05		11^{42} „	248	41,3
11^{48} „		180	1,67			187	0,64		11^{48} „ *)	Blättchen angeschlag.	
			1,55	0,78			0,32	1,00			
11^{59} „	+	203			+	191,5	—		11^{59} „	87	14,5
12^{00} m		198,5	4,57			189	1,25		12^{00} m. *)	152	25,3
12^{06} p. m.		186,5	2,13			—			12^{06} p. m.	152	25,3
12^{10} „		178,5	2,26			—			12^{10} „	135	22,5
			2,40						12^{15} „ *)	222	37,0
12^{19} „	—	200			—	1,98	+		12^{20} „	135	22,5
12^{21} „		196,5	1,79			191,5	1,62		12^{40} „	135	22,5
12^{23} „		193	1,84			191	0,12		*) Sandsack entleert.		
12^{40} „			1,82	0,76			0,87				
2^{53} „											

[1]) Siehe Anmerkung S. 67.

Am Morgen des Fahrttages selbst (6. Dezember 1902) herrschte bei starkem Froste etwas trübes Wetter. Trotzdem stand nach der Wetterlage des vorhergehenden Tages zu erwarten, daß nur eine Bodennebelschicht von geringer Mächtigkeit die Hochebene bedeckte und daß der aufsteigende Ballon bald in klares Sonnenlicht eintreten würde. Dies traf tatsächlich zu. Die Wetterkarte gab folgende allgemeine Uebersicht: „Die Depression im Mittelmeergebiet zieht ostwärts ab. Gleichzeitig hat der Kern des ausgedehnten Barometermaximums, der über Südskandinavien liegt, etwas an Intensität verloren. Hiedurch ist das Luftdruckgefälle über Norddeutschland geringer geworden und haben daher die östlichen Winde etwas nachgelassen, doch hält über Deutschland

Tabelle 36.

Temperat. in C°	Feuchtigkeit relat. %	Feuchtigkeit absol.	Ballon-Höhen	Ballon-bewegung	Wetter
—14,4	86	1,45	514	Abfahrt. Ballon steigt.	
—5,4	70	1,93	1906	Ballon steigt.	
—6,8	48	1,42	2132	Ballon steigt schwach.	
—6,6	43	0,95	2266	Ballon steigt. Ballon steigt sehr langsam.	
—8,8	67	1,74	2472	Ballon steigt.	
—11,2	49	1,05	2824	Ballon steigt. Ballon steigt langsam.	Grenze des Dunstes; über dem Ballon reiner Himmel. Einzelne Stratuswolk. Sonne 3/4 bedeckt.
				Ballon steigt.	
—13,2	41	0,75	3319	Gleichgewicht. (12^{23} bis 12^{39} Schleppseil herabgelassen.)	Eiskrystalle in d. Luft.
—14,0	89	1,56	3400	Größte Höhe.	
—6,2	53	1,64	740	Am Landungsplatze.	

die östliche Luftströmung noch an. Der Morgen war in Norddeutschland bei strengem Frost meistenorts klar, in Süddeutschland meist trüb oder neblig mit Frost.“ München meldete einen Druck von 766 mm, bedeckten Himmel und — 13° C. Temperatur.

Die Abfahrt erfolgte vormittags 10^{32} vom Uebungsplatze der k. Luftschifferabteilung aus bei — 14,4° C. Es lag Temperaturumkehr vor (s. Tab. 36), so daß nur durch fortwährendes Ballastauswerfen (132 kg bis 11^{30}) der Ballon zum Höhersteigen zu bringen war. Sehr bald waren wir in reinem Sonnenlichte und auch der Nebel unter uns reichte in der Fahrtrichtung nicht weit über die Stadt hinaus. Der Ballon schlug eine gerade w-s-w Richtung ein. Um 12^{00} überflogen wir in 2600 m Höhe

den Lech südlich Landsberg und kamen jetzt wieder über ein dichtes, zusammenhängendes Nebelmeer, das bis zur Landung den Ausblick auf die Erde und somit auch eine Orientierung der Fahrt verhinderte. Nur aus den in seltener Klarheit aus den Nebeln herausragenden Bergspitzen konnte festgestellt werden, daß wir uns den Allgäuer Vorbergen mehr und mehr näherten. Daher ordnete der Ballonführer schon um 12^{23} p. m. das Herablassen des Schleppseiles an, was notwendigerweise den Abbruch meiner Messungen zur Folge hatte. Nach sorgfältiger Verpackung und Verstauung der Apparate wurde um 12^{46} der Ballon durch Ventilziehen zum Sinken gebracht. Um 1^{19} erreichten wir die Nebelschicht, die den Fall des Ballons vollständig abbremste. Erst nach weiterem Gasauslassen (im ganzen 83 sec Ventilzug), wodurch der Ballon sichtlich zusammenschrumpfte, was sich am Ballonschatten auf der weißen Nebeldecke deutlich zeigte, tauchten wir in den Nebel unter und fielen nun rasch. Um 1^{50} landeten wir sodann glatt auf einem schneebedeckten Felde in der Nähe von Rohrdorf bei Isny in Württemberg. Die Fahrt dauerte 3 Stunden 18 Minuten, wobei ein Weg von 122 km zurückgelegt wurde.

Die während der Fahrt gewonnenen Messungsergebnisse sind in Tabelle 36 im Zusammenhang dargestellt. Eine vor und nach der Fahrt angestellte Isolationsprüfung zeigte bei allen drei Elektroskopen eine vorzügliche Isolierfähigkeit, die durch die Fahrt in keiner Weise beeinträchtigt worden war.

Nach der Fahrt wurde in Rohrdorf eine Messung mit dem Aspirationsapparat angestellt, die nachstehende Werte ergab. (Tab. 37.) Es herrschte dabei trübes Wetter mit leichtem Rauhfroste.

Tabelle 37.

Datum	Zeit	Ladg.	Volt	E. st. E. in m^3	q
6. Dezember 1902	3^{33} p. m.	+	192	− 0,25	0,72
	3^{48} „		184,5		
	3^{50} „	−	181,5	+ 0,18	
	4^{05} „		176		

Am Tage nach der Fahrt, den 7. Dezember 1902 bestand folgende allgemeine Wetterlage. Hoher Druck bedeckte fast ganz Europa mit Ausnahme des Südens. Das barometrische Maximum hatte an Intensität verloren, die Depression zog ab. In Deutschland dauerte strenger Frost fort. München hatte 765 mm Luftdruck, bedeckten Himmel, leichten N.W.-Wind und 11·0 C. Kälte.

Aus der Tabelle 36 ergibt sich, daß sowohl die Messungen mit Zerstreuungsapparat, als auch mit Aspirationsapparat eine Zunahme des Elektrizitätsgehaltes mit wachsender Erhebung über den Erdboden zeigen, wenn auch die absoluten Beträge der Zerstreuungskoeffizienten nicht die von H. Ebert[1]) unter besonders günstigen Witterungsverhältnissen gefundenen Werte erreichen. Erst bei ca. 3000 m fand sich eine elektrostatische Einheit im m³ und Zerstreuungswerte von über 2%. Die unipolare Leitfähigkeit in höheren Luftschichten fand sich, wie bei H. Ebert's[2]) Fahrten kleiner als 1.

Aehnliche Werte, wie ich, fand auch G. Lüdeling[3]) bei Ballonfahrten von Berlin aus, während welcher allerdings meist ungünstiges Wetter herrschte. Erst über den Wolken in ca. 3000 m enthielt 1 m³ Luft 1 e. st. E.

Neue Ergebnisse förderten die Potentialmessungen mit dem Apparat von H. Ebert zu Tage. Das Instrument erwies sich für den Gebrauch im Ballon als vorzüglich geeignet. Ohne Schwierigkeit können damit Messungen des Potentialgefälles noch neben denen mit Zerstreuungs- und Aspirationsapparat vorgenommen werden.

Während der Potentialmessung zeigte sich eine sehr auffällige Erscheinung. So oft nämlich der Ballonführer einen Sandsack entleerte, trat gleich darauf eine plötzliche Vergrößerung der Blättchendivergenz am Elektroskope ein, die erst allmählich zurückging. Bei genauerem Zusehen ergab sich, daß der vorzugsweise an einer Gondelseite ausgegebene Sand die am Elektroskopgehäuse hängende Kollektorplatte stets stark bestreute, worauf dann das Ansteigen der Potentialwerte erfolgte.

Durch eingehende Versuche H. Eberts[4]) im Laboratorium wurde diese Erscheinung erklärt. Sie erwies sich als Folge eines reibungselektrischen Vorganges beim Entleeren eines Ballastsackes. Durch Reibung wird der Sand —, der Ballastsack + geladen. Damit wird aber auch dem Ballon eine + Ladung mitgeteilt, die nicht ohne Einfluß auf die elektrischen Messungen in demselben sein dürfte. In der Tat zeigte sich dies in mehreren Fällen. So wurde namentlich der größte Zerstreuungswert von $a+ = 4{,}57$ kurz nach dem Auswerfen von Ballast gemessen, der die erwähnte

---

1) H. Ebert: Meteorolog. Zeitschr. 18; 350; 1901.
2) Derselbe: ebenda 18; 351, 1901.
3) G. Lüdeling: Illustrierte aëronaut. Mitteil. 7; 329; 1903.
4) H. Ebert: Gerlands Beiträge z. Geophysik 6; 85; 1903.

Kollektorplatte so stark lud, daß die Elektroskopblättchen sogar zum Anschlagen an die Schutzbacken gebracht wurden. Die Beobachtungen G. Lüdelings[1]) im Ballon scheinen dasselbe zu bestätigen.

Neben diesem Einfluß auf die luftelektrischen Messungen kommt der Elektrisierung des Ballons durch Ballastauswerfen, wie H. Ebert[2]) näher ausführte, noch eine hohe praktische Bedeutung zu, indem sie die Ursache von Funkenbildung beim Landen und damit einer schweren Gefährdung des Ballons werden kann.

3. Abschnitt.

Die technische Bedeutung der atmosphärischen Elektrizität.

In der Einleitung wurde gezeigt, daß nach zweierlei Richtungen hin Versuche vorliegen, die atmosphärische Elektrizität praktisch zu verwerten. Nämlich: 1) zu motorischen Zwecken und 2) zu landwirtschaftlichen Zwecken.

1) Für alle die Bestrebungen, die in der Natur erzeugte elektrische Energie direkt zu motorischen Zwecken zu verwenden, ist die im m^3 enthaltene Elektrizitätsmenge von ausschlaggebender Bedeutung; denn die Voraussetzung aller dieser Probleme ist, daß die in der Luft vorhandenen Elektrizitätsmengen zu einer gewerblichen Verwertung wirklich ausreichen. Nun ergaben Messungen, die ich in der Umgebung Münchens und im Gebirge mit dem Aspirationsapparate anstellte am Erdboden im Mittel 1/3 E. S. E. pro 1 m^3 Luft. In 3000 m Höhe wurde im Winter bei klarem Sonnenscheine ca. 1,5 E. S. E. pro m^3 gefunden. (Tab. 36.) Zweifellos können diese Beträge bei besonderen Witterungsverhältnissen, den Zerstreuungsmessungen nach zu schließen, etwas größer ausfallen, werden sich aber in derselben Größenordnung bewegen. Es dürfte daher genügen, zur Beurteilung der eingangs erwähnten Probleme diese Zahlen zu grunde zu legen.

---

[1]) G. Lüdeling: Illustr. aëronaut. Mitteil. 7; 329; 1993.
[2]) H. Ebert: Gerlands Beiträge zur Geophysik 6; 86; 1903.

Hienach hat offenbar das Projekt H. Rudolphs (s. S. 4), das die Ausnützung des Jonenreichtums höherer Luftschichten im großen Maßstabe bezweckt, am meisten Aussicht auf Erfolg. Es ist nicht ohne Interesse, gerade auf die Rudolph'sche Vorrichtung näher einzugehen, da der Erfinder erst in jüngster Zeit einen energischen Aufruf zur öffentlichen Unterstützung seiner Sache ergehen ließ. [1])

Zur Berechnung der zu erwartenden Stromstärken seien die allergünstigsten Annahmen gemacht. Es sei zugegeben, daß durch das Sammelnetz der gesamte Elektrizitätsgehalt [2]) der hindurchstreichenden Luft abgeleitet werden könnte. Fließt nun ein Luftstrom mit der gerade noch zulässigen Höchstgeschwindigkeit [3]) von 25 $\frac{m}{sec}$ hindurch, der im m^3 1,5 E. S. E. mit sich führt, so berechnet sich bei den gegebenen Dimensionen des Netzes (S. 5) eine maximale Stromstärke von:

$$\frac{300 \,.\, 300 \,.\, 25 \,.\, 1{,}5}{300 \,.\, 10^7} = 0{,}0011 \text{ Ampère}$$

Selbstverständlich läßt sich mit 0,0011 Ampère keine Akkumulatorenbatterie von 20000 Zellen laden, deren Energie für gewerbliche Zwecke verwendet werden soll.

Dieses Ergebnis ist für alle die Bestrebungen, welche sich die direkte Verwendung der atmosphärischen Elektrizität zum Ziele setzen, von prinzipieller Bedeutung. Freilich ergibt die Luftelektrizität außerordentlich hohe Spannungen, die zwischen der Erde und einem in nur mäßiger Höhe darüber gelegenem Punkte schon tausende von Volt betragen können. Diese enormen Spannungen, die bei heiterem Wetter allerorts auftreten, verlocken allerdings sehr zu einer praktischen Ausnützung; allein bei dieser kommt es nicht nur auf die Spannung, sondern auf die elektrische Energie, also auf das Produkt aus Spannung mal Elektrizitätsmenge per Sekunde an. Nun ist aber die in der Luft im m^3 enthaltene Elektrizitätsmenge sehr gering, günstigsten Falles einige E. S. E. Selbst wenn es demnach gelänge, durch besonders große Vorrichtungen, wie z. B. das Rudolph'sche Sammelnetz, den gesamten Elektrizitätsgehalt außerordentlich großer Luftmengen aus höheren Schichten vollständig abzuleiten, so würden sich, wie die Rechnung zeigt, doch nur ganz minimale Stromstärken ergeben, die für eine technische Verwendung ohne alle Bedeutung wären.

---

1) H. Rudolph: „Luftelektrizität und Sonnenstrahlung", Leipzig 1903, S. 24.
2) Ebenda S. 24.
3) H. Rudolph: Deutsche Patentschr. Kl. 21; 2; 1898.

Daraus geht hervor, daß schon die Voraussetzung für die Ausführbarkeit des Rudolph'schen Projektes nicht zutrifft. Doch auch wenn dies der Fall wäre, so würden sich dem Betriebe zahlreiche Schwierigkeiten in den Weg stellen. Fürs erste wäre es unmöglich, 20000 hintereinander geschaltete Akkumulatorenzellen isoliert zu erhalten, da wie Feußner[1]) gezeigt hat, an Hochspannungsbatterien schon von 2000 Volt an Ströme von den Batteriepolen aus nach allen Richtungen durch die Luft gehen und in jede Leitung eintreten. Sodann ist an einen Dauerbetrieb bei den verschiedensten Wetterlagen unter Anwendung eines Fesselballons gar nicht zu denken, denn nach den Erfahrungen A. Slabys[2]) eignet sich ein Fesselballon nicht einmal zum dauernden Tragen eines einfachen Fangdrahtes bei der Funkentelegraphie. Endlich aber würde wohl der ökonomische Wirkungsgrad einer so teueren, großen und komplizierten Anlage, die zudem nur bei schönem Wetter in Betrieb gesetzt werden kann, derart ungünstig sein, daß jede andere Art der Elektrizitätserzeugung vorzuziehen wäre.

Nicht besser, als die Aussichten des Rudolph'schen Projektes sind die der anderen in der Einleitung angeführten Erfindungen. So leuchtet nach dem Vorhergesagten sogleich ein, daß nach der Dewey'schen Methode erst recht kein genügender Strom zur Ladung einer Akkumulatorenbatterie erhalten werden kann, zumal, als die „aspirierende" Wirkung eines Spitzenbüschels äußerst gering ist.[3]) Ueber die Größenordnung der hier zu erwartenden Ströme geben am besten die direkten galvanometrischen Messungen L. Webers[4]) an einem Blitzableiter Aufschluß. L. Weber fand bei seinen Versuchen eine maximale Stromstärke von $5{,}857.10^{-6}$ Amp.

Noch geringere Elektrizitätsmengen würde die Maschine von L. Palmieri liefern, die höchst wahrscheinlich auch gar nicht als Kraftmaschine, sondern nur als physikalischer Demonstrations-Apparat gedacht wurde.

Als gänzlich verfehlt ist der „Stromsparer" L. v. Leons anzusehen, dessen Wirkung gegen alle Grundgesetze der Elektrizität verstoßen würde. Dementsprechend hat der Apparat von Fachleuten eine vernichtende Kritik erfahren[5]) und, wie von vornherein zu erwarten, ergab eine genaue Prüfung desselben keine Spur einer Stromersparung.[6])

---

[1]) Feußner: Elektrot. Zeitschr. 20; 634; 1899.
[2]) A. Slaby: „Die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Funkentelegraphie" Berlin 1901, S. 29.
[3]) L.-Weber: Elektrotechn. Zeitschr. 7; 447; 1886.
[4]) Derselbe: ebenda 10; 574; 1889.
[5]) J. Sahulka: Zeitschr. für Elektrotechnik, Wien 16; 71; 1898.
[6]) v. Winkler: ebenda 16; 292; 1898.

Die Berichte über C. Figueras Erfindung entbehren so sehr der Wahrscheinlichkeit, daß eine Diskussion derselben unnötig sein dürfte.

2) Wenn auch, wie im Vorhergehenden gezeigt wurde, eine direkte Verwertung der atmosphärischen Elektrizität zu motorischen Zwecken nicht möglich ist, so könnte doch ihre Heranziehung zu pflanzenphysiologischen Zwecken noch von großer Bedeutung werden. Die Bestrebungen, Elektrizität zur Förderung des Pflanzenwachstums zu verwenden, sind schon alt.[1]) (1746). Die allermeisten dieser Untersuchungen fielen im bejahenden Sinne aus; dagegen gehen die Erklärungen der beobachteten Wirkungen weit auseinander.

Erst in neuester Zeit scheinen Versuche, die im botanischen Garten der Harvard-Universität[2]) durchgeführt werden, zu einer richtigen Erkenntnis des Einflusses der Elektrizität auf das Leben der Pflanzen zu führen. Nach diesen Versuchen reizen — Ladungen das embryonale Protoplasma, + Ladungen paralysieren es. Da nun im allgemeinen die Pflanze dem Boden gegenüber, in dem sie wächst, elektropositiv ist, so scheint dieser fortwährend — Elektronen an sie als natürliche Lebensbedingung abzugeben. Daß aus den Pflanzen selbst bei heiterem Himmel fortwährend — Elektrizität ausströmt, hat L. Weber[3]) schon früher durch Versuche an einer 2 1/2 m hohen Kiefer nachgewiesen. Demnach ist zu erwarten, daß jeder Umstand, der diesen elektrischen Austausch erleichtert, fördernd auf das Wachstum einwirkt und umgekehrt. Der „géomagnétifère" würde nun diesen Zirkulationsprozeß noch lebhafter machen, ganz wie es nach den Harvard-Versuchen verlangt wird. Hienach kann diesem Apparate eine günstige Wirkung nicht abgesprochen werden, wenn sie auch auf eine ganz andere Art zu stande zu kommen scheint, als der Erfinder annimmt.

Ein endgiltiges Urteil über die Brauchbarkeit des Paulinschen Apparates läßt sich jedoch noch nicht fällen, da unsere Kenntnisse über den Einfluß der Elektrizität auf das Pflanzenleben noch zu gering sind. Erst, wenn diese Frage genauer studiert ist, läßt sich sagen, ob und in welcher Weise sich die atmosphärische Elektrizität als Förderer des Pflanzenwuchses heranziehen läßt.

---

1) Eine geschichtliche Uebersicht gibt S. Lemström, ausführl. Referat in Elektrot. Zeitschr. 20; 71; 1899.
2) A. B. Plowmann: Physikal. Zeitschr. 4; 210; 1903.
3) L. Weber: Elektrot. Zeitschr. 7; 445; 1886.

Auch die Versuche A. Baudoüins sind möglicherweise von praktischer Bedeutung. Man kann sich vorstellen, daß mittels eines Franklin'schen Drachens den mit Wasserdampf gesättigten höheren Luftschichten neue Kondensationskerne in Form — elektrischer Teilchen zugeführt werden und so Tropfenbildung und Regen veranlaßt wird. (Vergl. d. Beobachtung bei Taubildung S. 86.)

Es erübrigt noch, über die Luftelektrizität als Störungsquelle in technischen Betrieben ein Wort zu sagen. Hier ist es vor allem die Gewitterelektrizität, die sich wegen ihrer Häufigkeit und heftigen Wirkung empfindlicher als alle die anderen Störungen durch Luftelektrizität fühlbar macht. Wenn man bedenkt, daß von den beschriebenen schädlichen Einflüssen der Gewitterelektrizität alle Telegraphen- und Telephonämter in der Gewitterstraße nacheinander betroffen werden, daß diese Störungen immer wiederkehren und materielle Verluste durch direkte Beschädigung und Betriebsunterbrechung zur Folge haben, so ergibt sich, daß die atmosphärische Elektrizität recht ungünstige Einwirkungen auf die Ökonomie des telegraphischen und telephonischen Betriebes ausüben muß. Es wird wohl niemals gelingen, die Ursache dieser Störungen völlig zu beseitigen; daher bleibt nur der eine Ausweg, ihre schädlichen Wirkungen möglichst abzuschwächen. Es kann darum nicht verwundern, wenn die Techniker aller Länder eifrig bestrebt sind, durch möglichste Vervollkommnung der Blitzableiter den Feind abzuwehren[1]) ja sogar (bei Telephonanlagen) schon sein Kommen durch selbsttätige Apparate zu signalisieren, um eine rechtzeitige Betriebsunterbrechung zu ermöglichen.[2])

Die übrigen durch atmosphärische Elektrizität verursachten Störungen (durch Erdströme, Nordlicht ꝛc.) treten seltener und nicht so heftig auf, daß eine langanhaltende oder empfindliche Beeinflussung der telegraphischen und telephonischen Betriebe zu stande kommt.

Beobachtungsergebnisse.

1) Das offene Fenster erwies sich als kein geeigneter Aufstellungsort für den Zerstreuungsapparat.

2) In Uebereinstimmung mit anderen Beobachtern ergab sich bei Wind eine Erhöhung der Elektrizitätszerstreuung.

---

[1]) Siehe die unter dem Titel „Blitzableiter" von den „Fortschritten d. Elektrotechnik" gebrachten fortlaufenden Berichte über Neuerungen an Blitzableitern und die Zusammenstellung in Reesen: „Die Sicherungen von Schwach- und Starkstromanlagen gegen die Gefahren der atmosph. Elektrizität". Braunschweig 1899.

[2]) H. Engelmann: Elektrotechn. Zeitschr. 15; 303; 1894.

3) Ebenso zeigte sich, wie bei anderen Beobachtern, daß zyklonale Luftströme kleine Zerstreuungswerte und kleine Werte für die unipolare Leitfähigkeit mit sich brachten.

4) Dagegen führten antizyklonale Luftströme einen großen Reichtum, namentlich an + Jonen herab.

5) Schon bei Föhnlage trat in Seeshaupt eine wesentliche Steigerung der Zerstreuung ein; bei Einsetzen eines frischen Föhnwindes stiegen die Zerstreuungswerte auf ein Vielfaches des normalen.

6) Vor und während Gewitter ergaben sich auffallend hohe Entladungsverluste für beide Vorzeichen, die jedoch erheblichen und jähen Schwankungen unterworfen waren. Kurz vor Beginn des Gewitterregens ging die Zerstreuung stark zurück.

7) Bei einer Spannung des Zerstreuungskörpers über 160 Volt stellte sich bei Aufstellung des Zerstreuungsapparates (mit Netz) im Freien der Sättigungsstrom ein.

Aus diesem Grunde ist die Expositionszeit bei Zerstreuungsmessungen so zu wählen, daß Anfangs- und Endspannung oberhalb der Grenze des Sättigungsstroms (160 Volt) liegen; dann werden in gleichen Zeiten gleiche Elektrizitätsmengen neutralisiert. Das Coulomb'sche Zerstreuungsgesetz hat hier keine Gültigkeit mehr.

8) Die Unipolarität der atmosphärischen Leitfähigkeit an der Erdoberfläche scheint durch ein Ueberwiegen der + Jonen über die — verursacht zu werden. Sie ergab sich, je nach der Oertlichkeit und der dort bestehenden Stärke des Erdfeldes verschieden und ging mit letzterer parallel. An Orten, die durch umliegende hohe Objekte gegen die freie Luftzirkulation abgesperrt waren, ergaben sich zu kleine Zerstreuungswerte für beide Vorzeichen.

Für die Aufstellung des Zerstreuungsapparates ergibt sich daher die weitere Bedingung, daß dieselbe nur auf ebenem freien Felde, fern von allen hohen Gegenständen geschehen soll.

9) Bei Taubildung werden — Jonen ausgefällt. Während a_- nahezu ungeändert blieb, sank a_+ bedeutend, wodurch ein Ansteigen der q-Werte, weit über die normalen Beträge erfolgte. Durch die Wirkung des Taues wird der unipolaren Leitfähigkeit der Luft in Seeshaupt eine ausgesprochene tägliche Periode aufgeprägt.

10) An größeren Gewässern ergaben sich unter geeigneten Verhältnissen außerordentlich hohe q-Werte, die durch eine Verminderung von a_+ zu stande kamen.

Hienach scheint auch Wasser in zusammenhängenden größeren Massen der Luft — Ionen zu entziehen.

11) Eine Freiballonfahrt bestätigte die Beobachtungen H. Eberts, daß der Elektrizitätsgehalt der Luft mit wachsender Erhebung über die Erde zunimmt und daß in größeren Höhen q um den Wert 1 schwankt.

Auch beim geschwärzten Spannungskörper kann bei genügender Intensität der ultravioletten Bestrahlung ein Hallwachseffekt auftreten, indessen vermag das Sonnenlicht am Erdboden keine lichtelektrischen Wirkungen am Zerstreuungskörper auszuüben. Dagegen sind solche in größeren Höhen, also im Ballon und auf Bergstationen unter Umständen zu befürchten.

13) Ein Anstrich sämtlicher metallner Apparatteile mit Graphitschwarz ergab ein wirksames Mittel zur Unterdrückung des Hallwachseffektes, selbst bei starker Konzentration der ultravioletten Strahlen.

14) Bei der verwendeten Intensität des ultravioletten Lichtes konnte an allen untersuchten Körpern, wie den verschiedensten Gesteinen, Blättern, Hölzern ꝛc. ein Hallwachseffekt wahrgenommen werden.

Zum Schlusse möchte ich mir noch erlauben, Herrn Professor Dr. H. Ebert für die vielseitigen Anregungen und freundlichen Unterstützungen bei der vorliegenden Arbeit meinen besten Dank auszusprechen.

München;
Physikalisches Institut der technischen Hochschule,
1904.

Inhalt.

Vorwort Seite
Geschichtliche Einleitung 1

1. Abschnitt.

I. Die atmosphärische Elektrizität als Energiequelle . . 2
II. Die atmosphärische Elektrizität als Störungsquelle in technischen Betrieben 7
III. Messungen der atmosphärischen Elektrizität in absolutem Maße
1) Spannungen und Stromstärken bei Gewitterentladungen 14
2) Ladungserscheinungen des Luftmeeres . . . 16

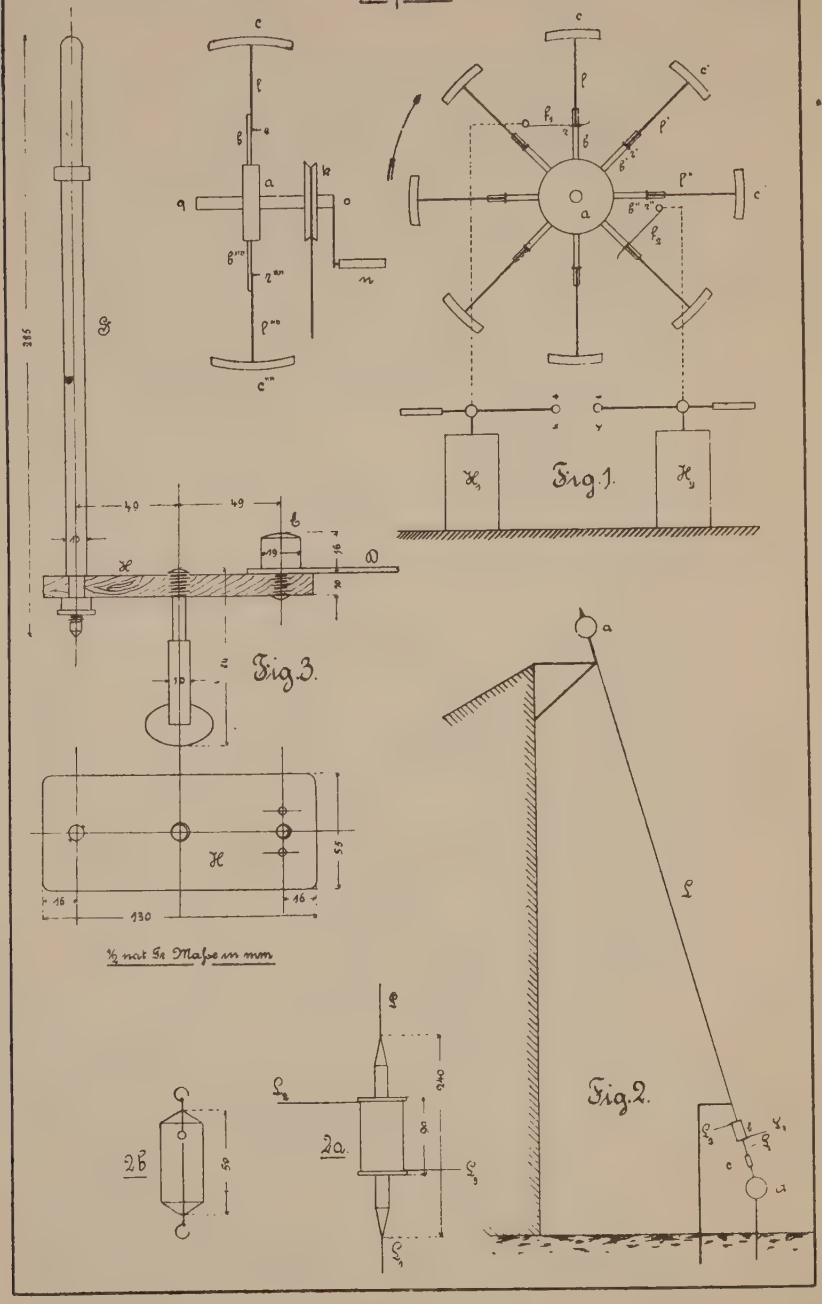
2. Abschnitt.

I. Apparate
1) Der Elster-Geitel'sche Zerstreuungsapparat . . 20
2) Der Ebert'sche Aspirationsapparat . . . 26
3) Ein transportables Quadrantelektrometer . . 27
Beobachtungen über den Einfluß ultravioletter Strahlen auf die Elektrizitätszerstreuung 31
II. Meßmethode 47
Ueber die Gültigkeit des Coulomb'schen Zerstreuungsgesetzes . 51
III. Beobachtungen
a) Luftelektrische Messungen in München . . 54
b) Luftelektrische Messungen im flachen Lande . . 58
c) Luftelektrische Messungen im Freiballon . . 91

3. Abschnitt.

Die technische Bedeutung der atmosphärischen Elektrizität . 96
Beobachtungsergebnisse 100
Tafeln . . . . . Nr. 1—6

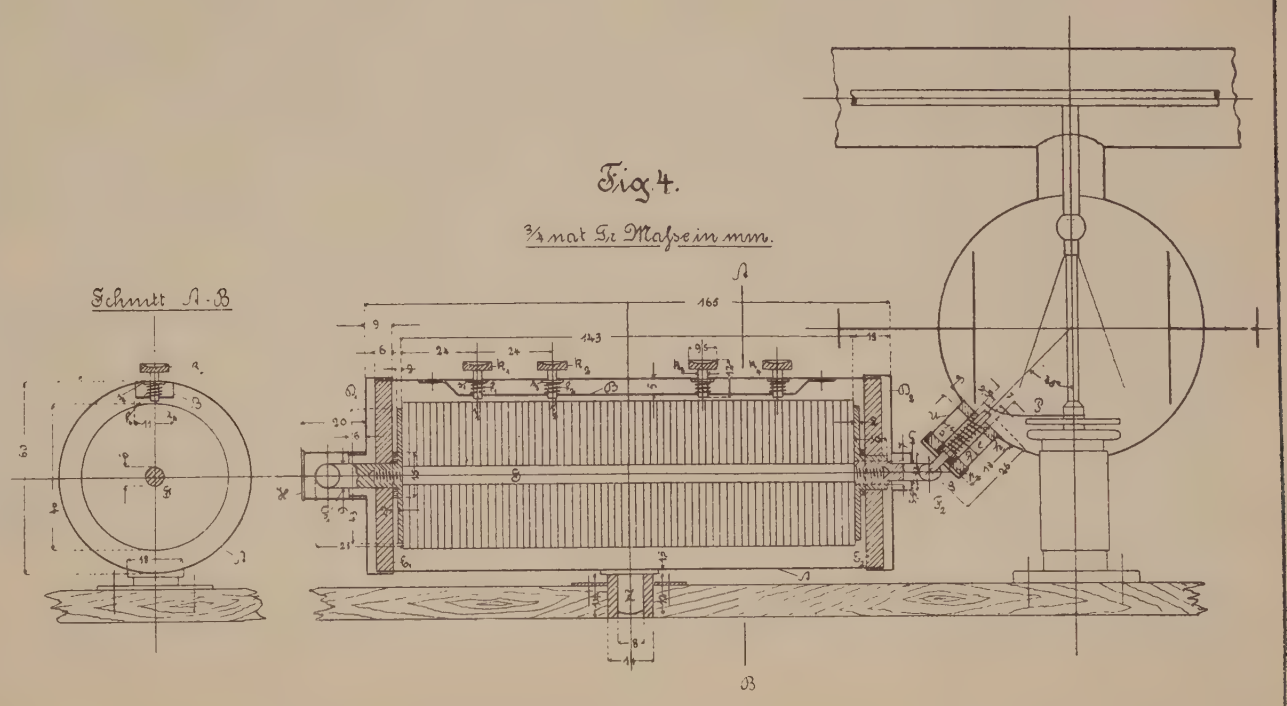
Tafel 1.



Tafel 2.

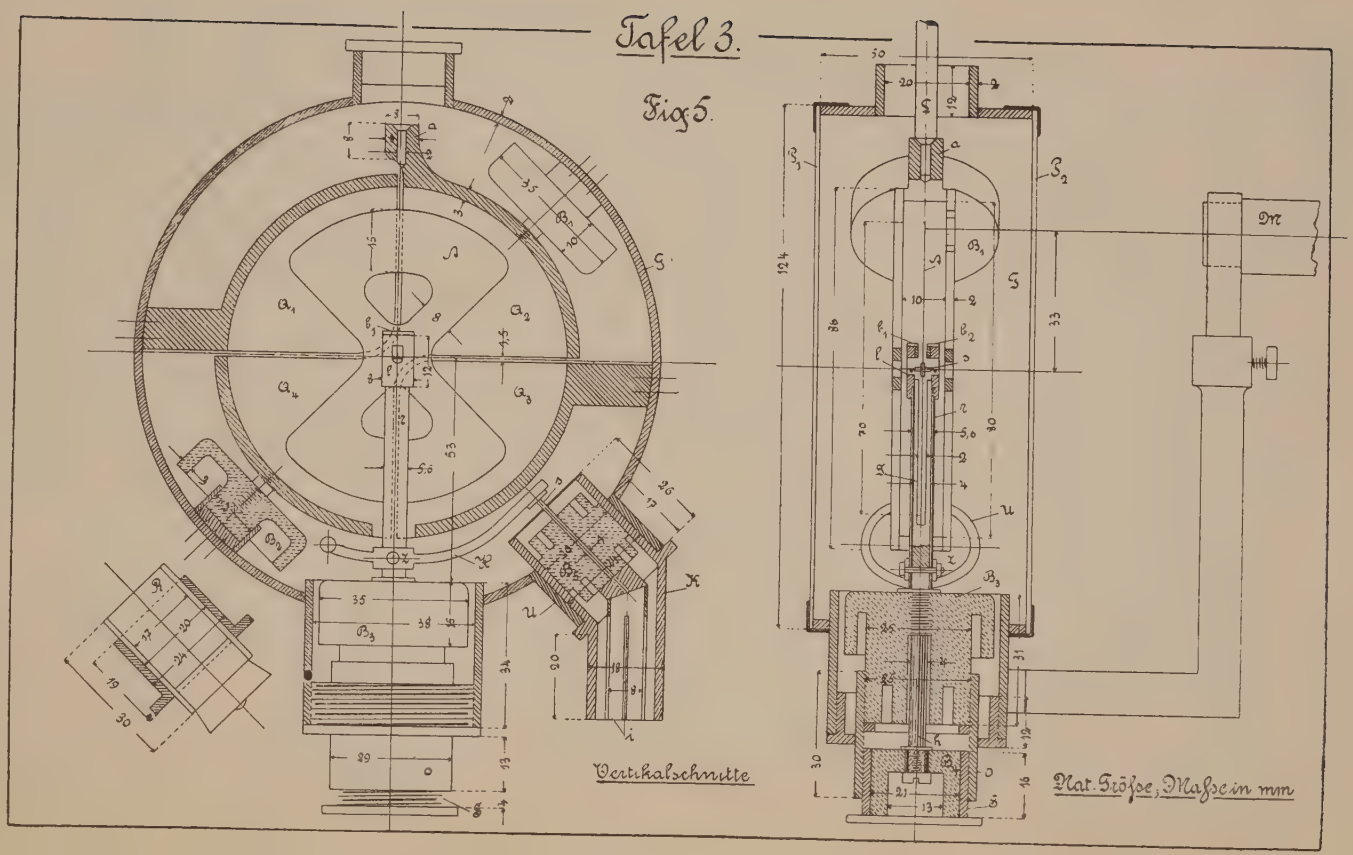
Fig. 4.

3/4 nat. Gr. Maße in mm.



Tafel 3.

Fig 5.



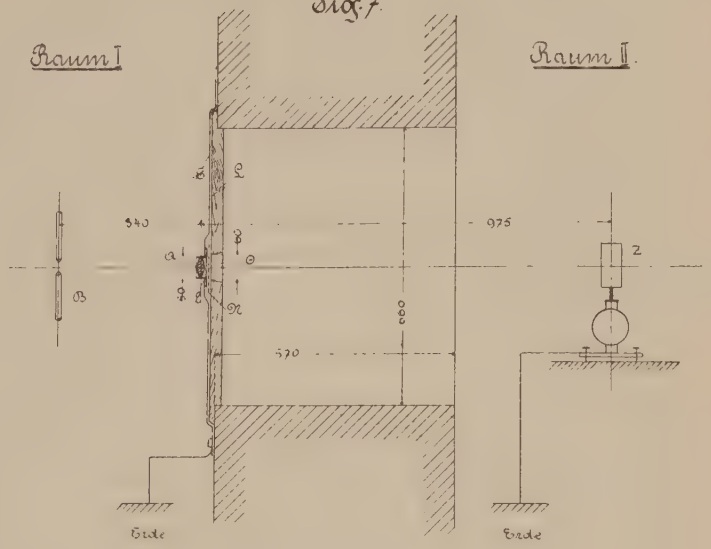
Vertikalschnitte

Nat. Größe; Maße in mm

Tafel 4.

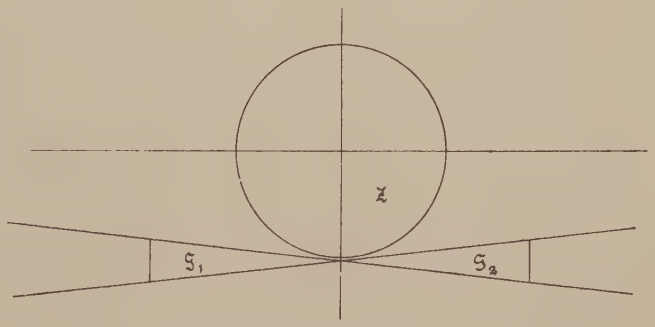
Tafel 5.

Fig. 7.



Vertikalschnitt. 1/10 nat. Gr.

Maße in mm.



Ansicht von oben. Nat. Gr.

Fig. 8.

Tafel 6.

Schaltungsschema

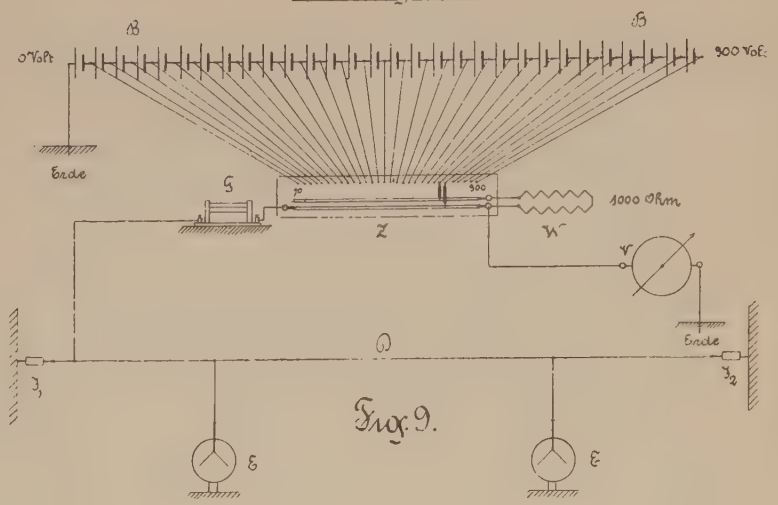


Fig. 9.

Zellenschalter

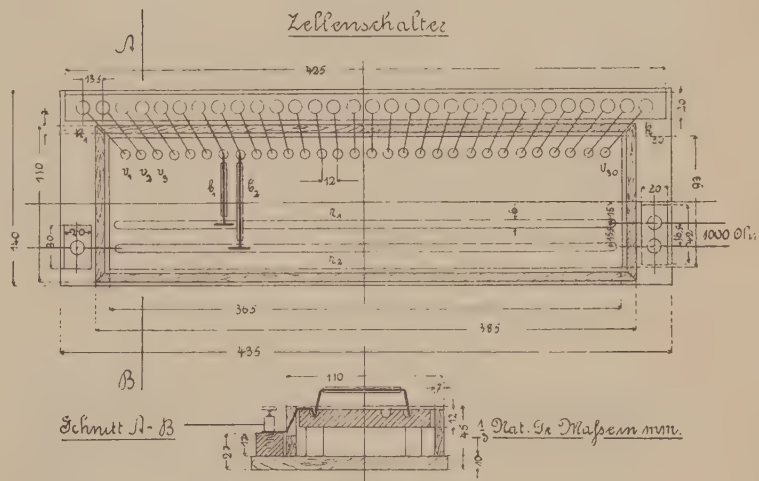
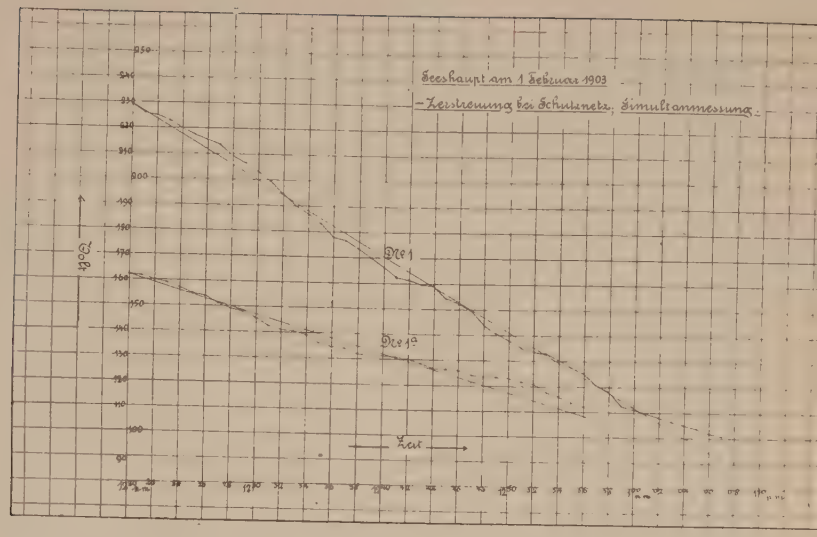
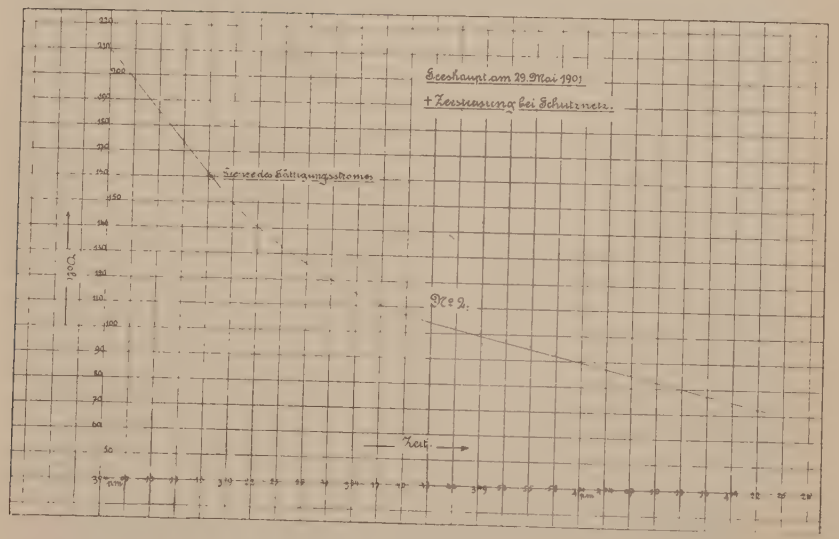
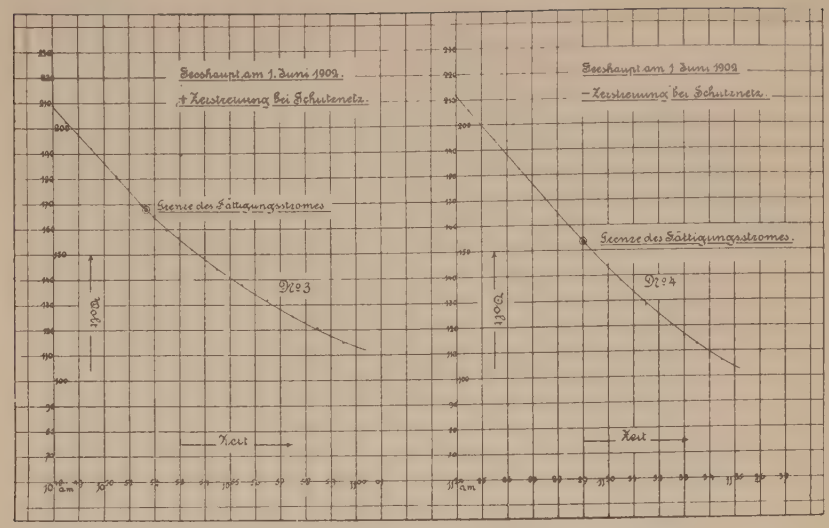
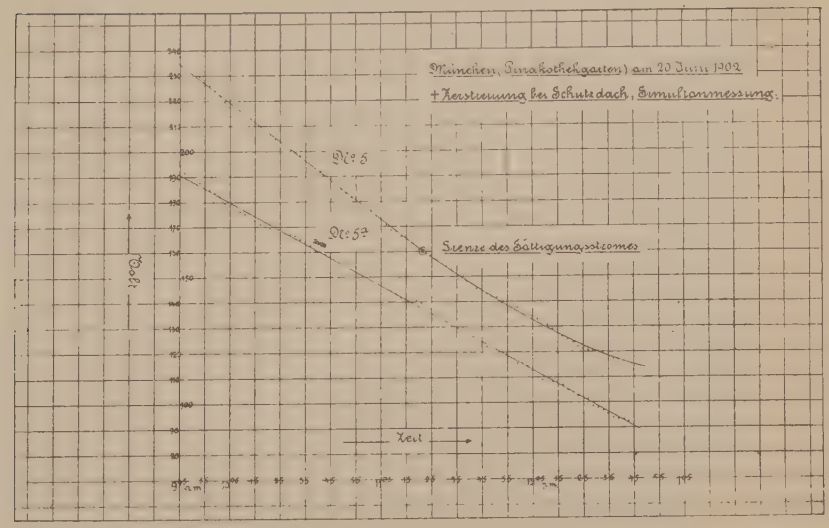


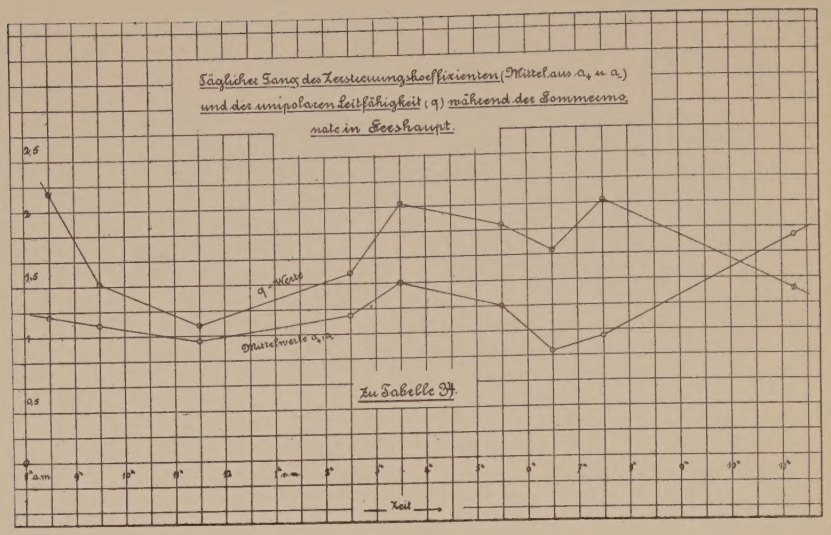
Fig. 10.


Seeshaupt am 1 Februar 1903
– Zerstreuung bei Schutznetz. Simultanmessung.
Nr 1
Nr 1a
Zeit
Volt


Seeshaupt am 29. Mai 1901
+ Zerstreuung bei Schutznetz.
Sie werden Sättigungsstrom
Nr 2.
Zeit
Volt


Seeshaupt am 1. Juni 1902.
+ Zerstreuung bei Schutznetz.
Grenze des Sättigungsstromes
No 3
1 Volt
Zeit
Seeshaupt am 1 Juni 1902
– Zerstreuung bei Schutznetz.
Grenze des Sättigungsstromes.
No 4
1 Volt
Zeit


München, Pinakothekgarten) am 20 Juni 1902
+ Zerstreuung bei Schutzdach, Simultanmessung.
No 5
No 5a
Grenze des Sättigungsstromes
1 Volt
Zeit


Täglicher Gang des Zerstreuungskoeffizienten (Mittel aus a_+ u. a_-) und der unipolaren Leitfähigkeit (q) während der Sommermonate in Seeshaupt.
2,5
2
1,5
1
0,5
q-Werte
Mittelwerte a_+, a_-
Zu Tabelle 34.
Zeit

Druck von A. Sighart in Bruck b. M.